

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ –
TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

Hornicko-geologická fakulta
Institut environmentálního inženýrství

DIPLOMOVÁ PRÁCE

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ –
TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

Hornicko-geologická fakulta

Institut environmentálního inženýrství

DISTRIBUCE VYBRANÝCH TOXICKÝCH PRVKŮ PŘI SPALOVÁNÍ
ODPADŮ

THE DISTRIBUTION OF SELECTED TOXIC ELEMENTS DURING THE
WASTE INCINERATION

diplomová práce

Autor:
Vedoucí diplomové práce:

Filip Karásek
Ing. Jiří Fiedor, PhD.

Ostrava 2010

Prohlášení

- *Celou diplomovou práci včetně příloh, jsem vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.*
- *Byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.*
- *Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB – TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).*
- *Souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB – TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním centru VŠB – TUO.*
- *Bylo sjednáno, že s VŠB – TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.*
- *Bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).*

V Ostravě dne 15. 4. 2010

Filip Karásek

.....

Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval především vedoucímu diplomové práce panu Ing. Jiřímu Fiedorovi, PhD., za věnovaný čas, za odborné vedení, cenné rady a připomínky, které mi poskytl během vypracování diplomové práce.

Anotace:

Tato diplomová práce je zaměřena na distribuci toxických prvků, které se uvolňují při spalování odpadů. První polovina této práce se pohybuje v teoretické rovině a je rozdělena do třech částí. První část se soustředí na obecný popis spaloven, samotný spalovací proces a rovněž na platnou legislativu v oblasti spalování odpadů. V druhé části je poukazováno na tvorbu, toxicitu, charakteristiku a původ jednotlivých toxických prvků. Třetí část je zaměřena na obecné poznatky chování rizikových kovů při spalování odpadů podle některých studií. Druhá polovina diplomové práce je věnována samotné praktické části, jejíž součástí je odběr, úprava a analýza vzorků, dále vyhodnocení a diskuse analýz a výsledků.

Klíčová slova: spalovna, spalování, odpad, toxické prvky, toxicita, rizikové kovy

Summary:

The diploma thesis specializes in distribution of hazardous metals, which are being released during the waste combustion. The first half of this thesis is concentrated on theoretical knowledge and is divided into three parts. The first part is focused on a general description of incinerators, a combustion process itself and also on an actual legislation in the field of waste combustion. The second part is adverted to production, toxicity, characteristics and origin of each hazardous element. The third part focuses on general knowledge of hazardous metal's behaviour during the waste combustion according to some studies. The second half of this diploma thesis is devoted to practical part itself, in which is discussed collection and modification of specimens, then interpretation and discussion of analysis and results.

Keywords: incinerator, incineration, waste, toxic elements, toxicity, hazardous metals

OBSAH

1 ÚVOD	1
2 SPALOVÁNÍ ODPADŮ A LEGISLATIVA	2
2.1 Definice spalování odpadů	2
2.2 Výhody a nevýhody spalování	2
2.3 Obecné schéma spalovny	3
2.3.1 Příjem a skládkování odpadů	4
2.3.2 Dávkovací zařízení	5
2.3.3 Spalovací pece	5
2.3.3.1 Roštové pece	6
2.3.3.2 Pece s pevnými rošty	7
2.3.3.3 Pece s pohyblivými rošty	7
2.3.3.4 Bubnové rotační pece	9
2.3.4 Produkty spalování	10
2.3.5 Chlazení a čištění spalin	12
2.3.5.1 Odlučování tuhých znečišťujících látek	12
2.3.5.2 Odlučování plyných znečišťujících látek	14
2.3.6 Odvod spalin – komín	15
2.4 Legislativa	16
2.4.1 Základní pojmy	16
2.4.2 Právní předpisy v oblasti odpadového hospodářství a spalování odpadu	17
2.4.3 Legislativní zařazení spalovny komunálních a nebezpečných odpadů	18
2.4.4 Provozní podmínky a řízení spalovny komunálních a nebezpečných odpadů ...	18
2.4.5 Emisní limity pro spalování odpadů	20
3 TEORIE TVORBY TOXICKÝCH PRVKŮ A JEJICH ÚČINKY NA ZDRAVÍ LIDÍ ..	21
3.1 Toxicita a toxické prvky	21
3.2 Definice rizikových kovů	21
3.3 Charakteristika jednotlivých rizikových kovů a jejich toxicita	22
3.3.1 Al – Hliník	22
3.3.2 As – Arsen	23
3.3.3 Cd – Kadmium	24
3.3.4 Co – Kobalt	24
3.3.5 Cr – Chrom	25
3.3.6 Cu – Měď	25
3.3.7 Fe – Železo	26
3.3.8 Hg – Rtuť	26
3.3.9 Pb – Olovo	27
3.3.10 Mn – Mangan	28
3.3.11 Ni – Nikl	28
3.3.12 Sb – Antimon	29
3.3.13 Tl – Thalium	29
3.3.14 V – Vanad	30
3.3.15 Zn – Zinek	30
3.4 Původ rizikových kovů v odpadu	31
4 TOXICKÉ PRVKY A SPALOVÁNÍ ODPADŮ	34
4.1 Obecné poznatky	34
4.2 Pilotní projekt	36
4.3 Analýza paliva na bázi komunálního odpadu	38

5 ODBĚR, ÚPRAVA A ANALÝZA VZORKŮ PRODUKTŮ SPALOVÁNÍ ODPADŮ NA VYBRANÉ TOXICKÉ PRVKY VE SPOLUPRÁCI S VYBRANÝMI SPALOVNAMI ODPADŮ.....	39
5.1 Vybrané spalovny odpadů	39
5.1.1 SAKO – Spalovna a komunální odpady Brno, a.s.....	39
5.1.2 SPOVO, a.s. – Spalovna průmyslových odpadů Ostrava	39
5.2 Odběr vzorků	40
5.3 Úprava vzorků.....	40
5.4 Analýza vzorků	41
5.5 Výsledky analýz vzorků produktů spalování odpadů	42
6 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ ANALÝZ	51
6.1 Množství spáleného odpadu.....	51
6.1.1 Hmotnostní podíly výstupů ze spalovacího procesu (SAKO):	52
6.1.2 Přepočet spalín (SAKO):	52
6.1.3 Hmotnostní podíly výstupů ze spalovacího procesu (SPOVO):.....	53
6.1.4 Přepočet spalín (SPOVO):	53
6.2 Zastoupení rizikových kovů v produktech spalování	54
6.3 Distribuce rizikových kovů spálením 1kg odpadu	55
6.3.1 Výpočet množství RK v produktech po spálení 1 kg SKO (SAKO).....	55
6.3.2 Výpočet množství RK v produktech po spálení 1 kg odpadu (SPOVO).....	57
6.4 Grafické znázornění výsledků analýz a výsledků stanovených výpočtem	57
6.4.1 Zastoupení rizikových kovů v produktech spalování odpadů (SAKO)	57
6.4.2 Vyhodnocení produktů spalování odpadů (SAKO).....	64
6.4.3 Zastoupení rizikových kovů v produktech spalování odpadů (SPOVO).....	66
6.4.4 Vyhodnocení produktů spalování odpadů (SPOVO).....	72
6.4.5 Zastoupení RK v produktech po spálení 1 kg odpadu (SAKO)	75
6.4.6 Zastoupení RK v produktech po spálení 1 kg odpadu (SPOVO)	81
6.4.7 Vyhodnocení celkové distribuce vybraných prvků do produktů spalování odpadů (SAKO)	88
6.4.8 Vyhodnocení celkové distribuce vybraných prvků do produktů spalování odpadů (SPOVO)	90
7 ZÁVĚR	92
8 POUŽITÁ LITERATURA	94
9 SEZNAM PŘÍLOH.....	99

SEZNAM ZKRATEK

RK – rizikové kovy

KO – komunální odpad

NO – nebezpečný odpad

ČR – Česká republika

MŽP – Ministerstvo životního prostředí

MZ – Ministerstvo zdravotnictví

PHA – hlavní město Praha

STC – Středočeský kraj

JC – Jihočeský kraj

PLZ – Plzeňský kraj

UNL – Ústecký kraj

LIB – Liberecký kraj

HK – Královéhradecký kraj

PAR – Pardubický kraj

VYS – kraj Vysočina

JM – Jihomoravský kraj

OLOM – Olomoucký kraj

ZL – Zlínský kraj

MSL – Moravskoslezský kraj

hosp. – hospodářství

prům. – průmyslových

PCDD – polychlorované dibenzo-p-dioxiny

PCDF – polychlorované dibenzofurany

SKO – směsný komunální odpad

1 ÚVOD

Otázku kam s odpadem lidstvo řeší již od nepaměti. V dnešní době však problematika nakládání s odpady nabývá velkých rozměrů. Je pravda, že průměrná skladba vzniklých odpadů se v průběhu času mění. Další pravdou je ale fakt, že odpady bývají čím dál více barvitější jak z hlediska fyzikálních, tak i z hlediska chemických vlastností. Vzniká stále více odpadů, se kterými se velice složitě nakládá, a které se v přírodě velmi pomalu rozkládají.

Existuje mnoho firem a společností, které se zabývají veškerou problematikou nakládání s odpady. Nejprve je problém řešen svozem odpadů do třídíren, na skládky nebo do spaloven. Skládky jsou zatím z celosvětového hlediska jedním z nejdostupnějších a nejpoužívanějších metod, které řeší otázku kam s odpadem. Skládky komunálních, nebezpečných a inertních odpadů jsou však v našem životním prostředí prostorově omezená místa, která se nekontrolovaně zaplňují. Proto se mnohem nákladnější metoda spalování odpadů ve spalovnách začíná dostávat do popředí, jelikož se oproti ukládání odpadů na skládkách vyznačuje mnoha přednostmi.

Spalovny komunálních a nebezpečných odpadů efektivně odstraňují širokou škálu odpadů. Spalovny jsou zařízení, která jsou z hlediska environmentálního a ekonomického velice přínosná. Mezi hlavní přínosy spalování odpadů patří značné snížení původního objemu spalovaného odpadu, dále efektivní odstranění odpadů, které jinou cestou nelze odstranit a také možnost energetického využití vzniklého tepla na výrobu elektrické energie.

Odpad, který do spaloven putuje, často má různé chemické složení, které ovšem může negativně působit na životní prostředí. Během spalování dochází k velkým chemickým změnám a složité sloučeniny se mohou přeměnit až na prvky, které mohou dále na organismy působit toxicky a bioakumulačně. Součástí každé spalovny je složitá technologie čištění spalin, která účinně odstraňuje i tyto toxické prvky. Takovéto technologie jsou spojeny se vznikem různých druhů produktů spalování, se kterými se pak musí ještě dále nakládat.

Cílem mé diplomové práce je porozumět distribuci toxických prvků během spalování odpadů. Různé prvky se vážou na různé produkty spalování. Cílem je tedy porozumět těmto zákonitostem a zajistit tak účinnější řešení z hlediska ochrany vůči úniku nebezpečných látek ze spaloven odpadů do životního prostředí.

2 SPALOVÁNÍ ODPADŮ A LEGISLATIVA

2.1 Definice spalování odpadů

Spalování odpadů patří k termickým metodám zneškodňování odpadů, při kterých dochází k působení na odpadní látku teplotou přesahující mez její chemické stability. Spalování odpadů je jeden z nejúčinnějších způsobů jejich odstraňování. Ve srovnání s ostatními metodami odstraňování odpadů dochází k podstatné redukci množství kontaminantů a k redukci jejich původního objemu. Ke spalování dochází při zahřívání za přítomnosti vzduchu. Spalování odpadů je řízený proces slučování hořlavých složek odpadu a kyslíku za stechiometrických či nadstechiometrických podmínek.

Při spalování se z organických složek uvolňuje energeticky využitelné teplo a nehořlavé části přejdou ve zbytek, který díky svému znatelně sníženému množství kontaminantů má mnohem jednodušší podmínky pro své konečné uložení na skládkách. Mezi hlavní typy zbytků patří škvára, struska, polokoks, popel, popílek a také kal, který vzniká v procesu čištění spalin a také při procesu čištění technologických vod. Teplo, které se při spalování uvolňuje, může být využito pro průmyslové či veřejné účely nebo může být konvertováno na jinou formu energie. [1], [2], [4]

2.2 Výhody a nevýhody spalování

Spalování odpadů a jiné termické metody odstraňování odpadů v současné době nalézají čím dál větší uplatnění, na rozdíl od kompostování nebo skládkování odpadů, hlavně ve vyspělých průmyslových státech a v oblastech s hustou městskou zástavbou. Uplatnění spalování je výsledkem výhod, které v některých směrech předčí i tak velice velkou nevýhodu, a to finanční nároky, které jsou způsobeny technologickou složitostí a velice drahým provozem spaloven odpadů. Ve finančních nárocích musíme zohlednit vysokou cenu výstavby spalovny, vysoké náklady na provoz a údržbu zařízení, potřebu kvalifikovaného personálu a nákladné opatření k zabránění vypouštění škodlivých látek do vody a ovzduší.

Velkou předností řízeného spalování je však skutečnost, že v důsledku spalování nestejnorodého materiálu můžeme ovlivnit jednotlivé procesy spalování (sušení, odplynění, zplynění a vyhoření) například změnou rozdělení vzduchu (primárního, sekundárního), rychlostí roštů, výškou vrstvy odpadů a přidáváním dodatkových látek.

Mezi ty nejpodstatnější výhody patří snížení objemu odpadů na 10 – 15% původního objemu, což je mnohem výraznější, než snížení objemů odpadů kompostováním či skládkováním. Další předností této metody je také možnost zneškodnění chemických a zvláštních zdravotních odpadů, pro které je to prakticky jediný způsob zneškodnění, přičemž po spalování vzniká tuhý a sterilní zbytek, který většinou nepodléhá dalšímu rozkladu. Můžeme tak předejít zdravotním rizikům u patologických odpadů a u odpadů vzniklých v souvislosti se zdravotními epidemiemi.

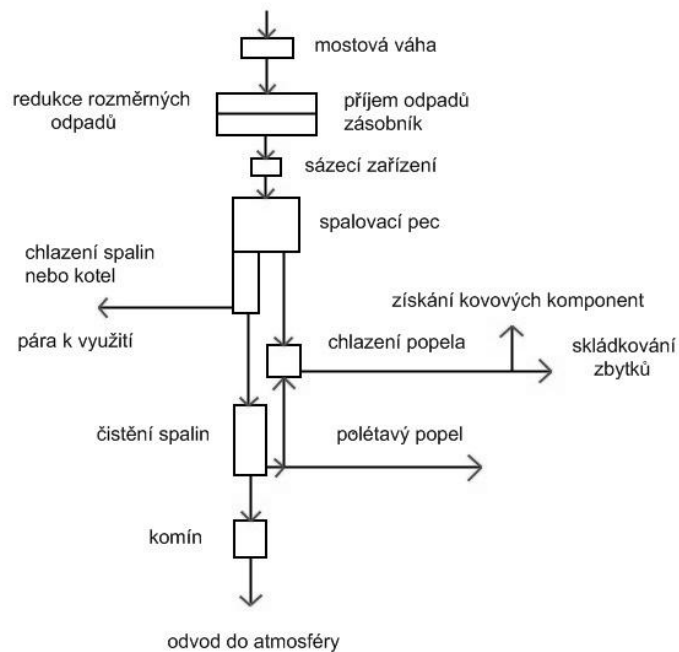
Další důležitou výhodou je využití uvolněného tepla pro výrobu páry (spalovna pracuje jako výtopna), pro ohřev teplé vody a pro výrobu elektrické energie (spalovna pracuje buď jako elektrárna nebo jako teplárna – kombinovaná výroba elektřiny i tepla). Důležitý je fakt, že podle rámcové směrnice 75/442/EEC o odpadech patří energetické využití odpadu v hierarchii nakládání s odpady ještě před jejich odstranění, které je v této hierarchii až na posledním místě. Je tedy zřejmé, že v dnešní době je snaha odpady energeticky využívat velká. V našich zeměpisných šířkách je však ve využití odpadů, jako zdroj druhotné energie, stále značná rezerva. [1], [4], [5], [7], [8]

2.3 Obecné schéma spalovny

Každá spalovna odpadů bývá vesměs koncipována jako samostatný provoz nebo závod vybavený kompletním technologickým zařízením, který zajišťuje všechny jednotlivé fáze nakládání s odpady. Tyto fáze pak obecně zahrnují příjem, shromažďování, vlastní spalování odpadů, až po nezávadné odstraňování vniklých plyných, kapalných a pevných produktů spalování.

Dílní technologické části se u konkrétních spaloven mohou odlišovat, v principu jsou však u každé spalovny odpadů zajištěny tyto technologické funkce: příjem a skládkování odpadů, sázení a spalování odpadů, chlazení nebo využívání tepla spalin, čištění spalin a odvod spalin a odstranění pevných zbytků po spalování. Vedle těchto hlavních technologických procesů přicházejí v potaz i procesy pomocné, jako je doprava v objektu, energetické a plynové hospodářství, správní a sociální zařízení a jiné.

Na obrázku č. 1 je zobrazeno schéma typického uspořádání spalovny komunálních odpadů. Náčrt spalovny odpadů je znázorněn v příloze č. 1. Konkrétní schéma spalovny SAKO Brno, je uvedeno v příloze č. 2. Úplný seznam spaloven komunálního odpadu je uveden v příloze č. 6 a seznam spaloven nebezpečného odpadu je uveden v příloze č. 7. [1]



Obrázek 1: Schéma toku materiálu spalovny komunálních odpadů [1]

2.3.1 Příjem a skládkování odpadů

Auta na svoz odpadů po zvážení vyprazdňují svůj náklad do uskladňovacího bunkru (zásobníku). Jako zásobník může sloužit ohrazená část budovy nebo ohraničená oblast na otevřeném prostranství. V každém případě musí být zásobník opatřen vraty pro uzavření v době, kdy vozidla nejsou vyprazdňována. Přítomnost zásobníku je z důvodu zajištění dostatečné zásoby odpadů pro zabezpečení nepřetržitého provozu spalovny při poměrně krátké době dopravy odpadů do areálu spalovny.

Skladovací kapacita zásobníku je koncipována tak, aby byl zajištěn neustálý dostatečný přísun odpadů. Je-li provoz spalovny i během víkendu, musí tak kapacita zásobníku být dostatečná pro zajištění minimálně dvoudenní vsázky odpadů. Ve velkých spalovnách mohou být místa pro uložení průmyslového a obchodního odpadu separována. Součástí zásobníku může být také stříhací nebo lámací zařízení na redukci objemných částí odpadu na velikost vhodnou pro násypku kotle.

Otázka zápachu je řešena pomocí použití speciálních ventilátorů, které udržují zásobník při slabém podtlaku. Tímto je zabráněn únik pachů do okolí. Složení odpadů je různorodé a může dojít ke vzniku požáru, proto je nutnou součástí také hasicí zařízení. [1]

2.3.2 Dávkovací zařízení

Je zařízení, které umožňuje dodávku odpadu do spalovací pece v žádoucím množství. Do spalovací pece je odpad obvykle dávkován pomocí mostového jeřábu umožňujícího podélný i příčný posun nad zásobníkem. Kabina pro operátora je umístěna buď na boční stěně zásobníku, nebo přímo na mostu jeřábu. V tomto případě umožňuje kabina lepší přehled a jednodušší obsluhu, avšak menší komfort. Chapadla jeřábu musí být schopna jak vlastního dávkování do kotle, tak i promíchávání odpadů uložených v zásobníku.

K vlastnímu dávkování odpadu do pece slouží násypka z ocelové konstrukce. Spodní část násypky bývá uzavřena pomocí hydraulicky ovládaného šoupátka. Při otevření šoupátka odpad putuje do vyzděné nebo vodou chlazené šachtice. Zabudované kontrolní zařízení signalizuje úroveň hladiny odpadu. V některých případech, když není kontrolní zařízení instalováno, vzniká nebezpečí vzniku plamene ve spodních částech šachty. Posun vrstvy odpadů je za pomoci hydraulického beranidla urychlován. Beranidlo mechanickým stlačováním zabráňuje vzniku „mostů“ ve vrstvě odpadů. [1], [6]

2.3.3 Spalovací pece

Podle ČSN normy č. 063090 je spalovací pec zařízení s uzavřeným a od okolního prostředí tepelně izolovaným spalovacím prostorem. V tomto prostoru se na odpadní látku působí jednak teplem uvolněným oxidací hořlavých látek a také teplem uvolněným při spalování podpůrného paliva. Vše probíhá za stechiometrického nebo vyššího obsahu kyslíku v reakčním prostoru. [6]

Při spalování tuhého odpadu v peci nejprve dojde k sušení, zapálení a až poté k vlastnímu spalování odpadů. Při spalování nehomogenního tuhého odpadu dochází však k prolínání těchto tří fází, jelikož se spalovaný odpad vyznačuje značnými rozdíly v obsahu vlhkosti a v zápalné teplotě. U odpadů s vlhkostí od 40 do 70 % se stává sušení velkým problémem. Tento problém je řešen vedením horkých spalín nebo předeřátého spalovacího vzduchu skrz, případně podél vrstvy sušeného odpadu nebo tepelným zářením stěn a klenby pece.

K úplnému spálení odpadů, plynů uvolňujících se při sušení a tepelném rozkladu hořlaviny je zapotřebí dostatečný čas zdržení, dostatečná teplota a dostatečné promíchání vrstvy odpadů. Teplota vedoucí k úplnému spálení by se měla pohybovat v rozmezí od 750

do 1000 °C. Teploty nad 1000 °C mohou vést k tavení popela a tím i k poškození žáruvzdorné vyzdívky pece.

Pro efektivní průběh spalování je rovněž důležitý řízený přísun spalovacího vzduchu. Ten je většinou přiváděn přes lože odpadů a přímo do prostoru spalovací komory pomocí vzduchových trysek za účelem dokonalého směšování s produkty spalování, k zamezení vzniku redukčních podmínek a k zajištění dokonalého spálení. Vzduch je přiváděn pomocí ventilátorů ze skladovacích prostor zásobníků na odpad. Pomocí filtrů se zbaví nečistot a dále bývá předešhříván teplem odpadních spalin na teplotu 150 až 250 °C.

Žáruvzdorný materiál použitý ve vyzdívkách pecí pro spalování by měl být výjimečné kvality, jelikož musí odolávat obtížným podmínkám. Z tohoto důvodu jsou na vyzdívku použity karbidokřemíkové tvárnice. Zařízení bývá vybaveno trubkovým systémem využívající unikajícího tepla a slouží jako výparník parního kotle. [1]

2.3.3.1 Roštové pece

Roštová spalovací zařízení jsou odvozena od nejstarších principů spalování pevných paliv na roštu, v topeništích parních kotlů. Během spalování leží palivo na děrované ploše – roštu. Volnými otvory roštu proudí spalovací vzduch, který slouží rovněž i k jeho ochlazení. K nejpoužívanějším roštovým pecím patří pece s pevnými rošty a pece s rošty pohyblivými, které můžeme dále dělit podle provedení roštů na pásové, posuvné, natřásací, otočné a válcové. Z technologických důvodů se však pevné rošty pro spalování odpadů příliš neujaly. Hlavní problém je nedostatečný stupeň vyhoření odpadu, který je pak řešen rošty pohyblivými se stupňovitým přívodem kyslíku do spalovací komory. Pece s pohyblivými rošty jsou vhodné pro spalování komunálních odpadů.

Speciálně u nás se preferují pece s válcovým roštem. Zónovým přiváděním vzduchu do spalovací komory se zvýšil stupeň vyhoření spalitelných částic v odpadu a tím se i snížil podíl nespálených exhalátů. Řízeného procesu se dosáhne použitím senzorů pro přívod vzduchu, které pak dávají impuls škrticím orgánům přívodu vzduchu ve spalovací komoře. Tento proces zaručuje optimální stupeň vyhoření a zároveň zabraňuje nadměrnému ochlazování stěn komory přívodem nadměrného množství spalovacího vzduchu.

Spalovací technologie má však nejhorší předpoklady z hlediska ekologicky přijatelných řešení, proto je stále vyvíjena a zdokonalována. V našich podmínkách jsou roštové spalovací pece velmi rozšířeny a využívají se hlavně ke spalování komunálních

odpadů. V menší míře se používají ke spalování některých druhů průmyslových tuhých odpadů, případně kombinovaných odpadů. [1], [2], [9], [14]

2.3.3.2 Pece s pevnými rošty

Tyto pece, které existují v mnoha variantách lišících se konstrukčním uspořádáním roštů, vhozů a systému dohořívání, jsou určené pro malé výkony (200 až $300 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$) a pro periodické spalování tuhých odpadů.

Pec se skládá ze spalovací komory a komory pro dodatečné spalování. Tuhý odpad je do reakční komory dávkován za pomoci vhozové šachty, která je uzavřena pecními dvířky. Pod rošt je přiváděn spalovací vzduch, v některých případech je přiváděn i vzduch sekundární ze speciálních trysek. K zahájení procesu spalování a ke stabilizaci dalšího hoření jsou použity hořáky na plynné palivo, které jsou součástí spalovací komory. Vzniklé spaliny jsou ze spalovací komory vedeny do komory dodatečného spalování s přídavným hořákem, která zajišťuje spálení dosud nespáleného podílu plynného a podílu organického, a rovněž zajišťuje přehřátí plynných produktů na technologicky určenou a potřebnou teplotu. Obsluha těchto pecí je většinou ruční, jedná se jak o dávkování odpadů, tak i o odstraňování vzniklého popela z roštu. [1]

2.3.3.3 Pece s pohyblivými rošty

Tyto pece jsou určeny pro střední a velké výkony, tedy nad $300 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$. Jejich výhodou oproti kotlům s pevnými rošty je jednak spolehlivý a rovnoměrný průchod tuhých odpadů spalovacím prostorem pece, dále plynulé odstraňování popela bez nutnosti ruční obsluhy a v poslední řadě také kontinuální provoz. Soustava roštnic různého tvaru je zpravidla přizpůsobena vlastnostem spalovaného odpadu, a také podmínkám spalovacího procesu. Soustava roštnic vytváří souvislou plochu, na které během spalování leží vrstva odpadu. Takto uspořádané roštnice umožňují přívod spalovacího vzduchu díky mezerám mezi jednotlivými rošty. Toto uspořádání rovněž umožňuje odstraňování škváry. [1], [14]

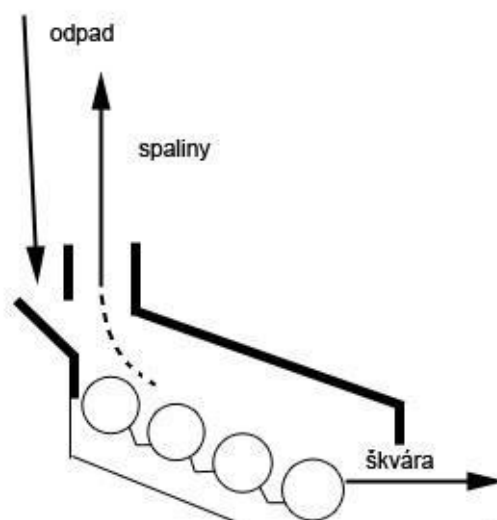
Pomocí násypky a podavače je odpad přiváděn do vstupní části spalovací komory. Pod rošt je pod tlakem vháněn spalovací vzduch, který je obvykle rozdělen do teplotních zón. Stejně jako u pecí s pevnými rošty je spalovací komora vybavena stabilizačním hořákem a nespálený podíl dále putuje do komory pro dodatečné spalování, kde je dodatečně spalován nebo ohříván na požadovanou teplotu.

Pro zlepšení podmínek spalování, zejména pro zajištění, aby z míst počínajícího hoření neodcházely nedokonale spálené produkty, jsou nadále vyvíjeny a zdokonalovány konstrukce roštů a spalovacích komor. Podle konstrukce vlastního roštu, jež současně určuje i způsob přemísťování odpadu v roštovém ohništi, a také podle odlišných dílčích firemních úprav, můžeme rozlišit pohyblivé rošty na pásové, posuvné, válcové, natřásací a otočné.

Pásové rošty jsou typické spojením roštnic do nekonečného pásu, který je upevněný mezi příčnými tyčemi. Horní vrstva pásu, na němž spočívá odpad, slouží jako vlastní plocha roštu. Spalovací vzduch regulovaný klapkami je přiváděn do horní a spodní části roštového pásu. Spalovací vzduch slouží jednak k samotnému spalování, tak i k chlazení spodní části roštového pásu. Nevýhodou těchto roštů je nepromíchávání odpadu a tím odpad prohořívá pouze od svého povrchu dolů. Toto zařízení je tedy vhodné pouze pro kvalitnější druhy paliva.

Posuvné roštové pece se skládají z šikmo sestupujících pohyblivých roštů, díky kterým je zajištěno trvalé posunování odpadu ve směru spalování. Součástí konstrukce jsou 1 a 2 m vysoké mezery mezi rošty, které zaručují promíchávání a načechrávání spalovaného odpadu mezi zónami sušení, spalování a vyhořívání.

Válcové rošty, znázorněné v obrázku č. 2, jsou tvořeny několika válci uspořádaných stupňovitě za sebou, jejichž konstrukce pak tvoří dno spalovací komory o sklonu kolem 30°. Průměr válců bývá 1,5 m a délka dna tvořeného jednotlivými válci pak závisí na spalovací kapacitě. Každý válec má samostatný přívod spalovacího vzduchu různou měnitelnou rychlost otáčení. Na nejvýše položený válec se naváží odpad, který postupně putuje po ostatních válcích, na kterých probíhají procesy spalování. Z posledního válce vypadávají tuhé zbytky do odstruskovače. Spaliny jsou z prostoru nad prvním válcem převáděny do dohořivacího prostoru přecházejícího ve výparník parního kotle, za kterým jsou řazeny další výhřevné plochy pece. Tyto pece jsou nejvíce rozšířeny a používají se jak ke spalování komunálních odpadů, tak i ke spalování průmyslových a kombinovaných odpadů. [1]



Obrázek 2: Schéma pece s válcovými rošty [1]

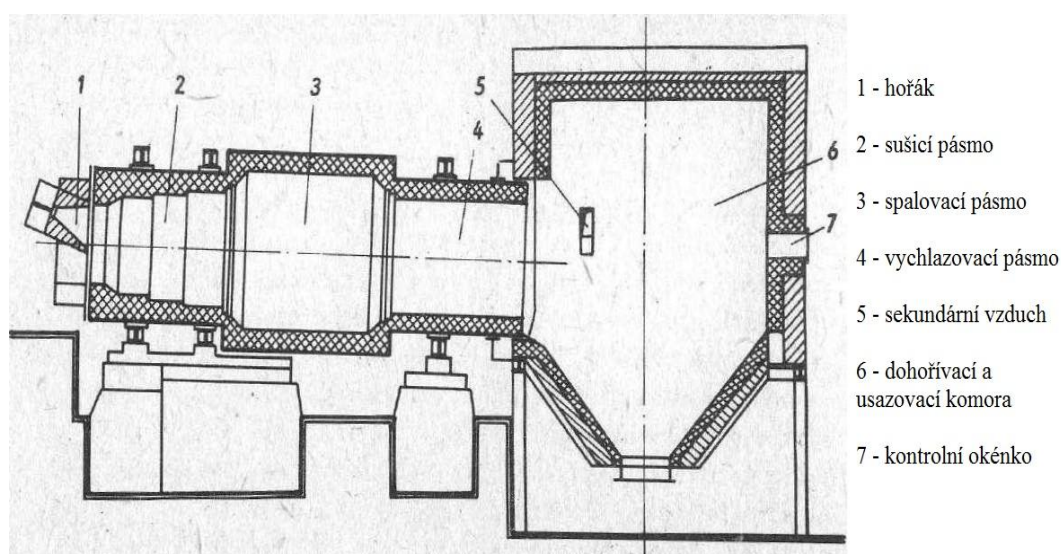
2.3.3.4 Bubnové rotační pece

Bubnová rotační pec je vyžděná válcová nádoba o průměru 1000 až 4000 mm a délce až 12000 mm, umístěna vodorovně, otočná kolem podélné osy se sklonem 5° až 7° ve směru pohybu materiálu vůči horizontální rovině. Tento mírný sklon spolu s pomalým otáčením zaručuje mísení odpadů. Spalovací vzduch, palivo a dodatečné dávkování nadrozměrných kusů se provádí čelní stěnou válce. Pec bývá někdy profilována s větším průměrem uprostřed a s menším průměrem na výstupní části bubnu. Konec bubnu přechází v dohořivací komoru, jejíž funkcí je dokonalé vyhořívání organických látek v úletu z pece. Za účelem druhotného dohořívání v dohořivací komoře se do komory přivádí sekundární vzduch. Na dně dohořivací komory je kuželová výsypka pro odvod tuhých zbytků spalování. V případě, že je tato pec součástí spalovny pracující s využíváním odpadního tepla, je kotel na odpadní teplo zařazen za dohořivací komoru nebo je její součástí.

V rotační peci se teplo předává třemi způsoby. Nejprve sáláním plamene na odpady a na odkrytou část vyzdívky, dále sdílením tepla ze spalin na odpady a konečně vedením tepla z horké vyzdívky do lože odpadů. Teplota v reakčním prostoru bývá nejčastěji v rozmezí od 800°C až do 1400°C v některých speciálních případech konstrukcí pece. Přizpůsobení pece různým odpadům a různým spalovacím režimům lze změnou otáček samotného bubnu.

Výhodou těchto pecí je univerzálnost a malá citlivost na druh a složení odpadů a také vysoký stupeň promíchání odpadu. Tento typ pecí je zvláště výhodný pro tuhé odpady, pro odpady pastovité, kašovité, kaly, směs různých druhů průmyslových odpadů

s městskými odpadky a při splnění některých podmínek i pro odpady kapalné. Tato pec se využívá pro spalování odpadů z výroby plastických hmot, pro spalování jak průmyslových kalů, tak i kalů z městských čistíren odpadních vod, uplatňuje se i při spalování jinak velmi obtížně odstraňovatelných odpadů z chemické výroby, včetně toxických látek. Budují se obvykle ve venkovním nebo polovenkovním prostoru s menšími stavebními náklady, než spalovny jiného druhu. Rotační pece lze využít buď jako spalovací zařízení spaloven s využíváním odpadního tepla, nebo jen k prostému odstraňování odpadů. Obecné schéma rotační pece je zakresleno v obrázku č. 3. [1], [4], [14]



Obrázek 3: Schéma rotační pece [4]

Z energetického a ekologického hlediska se jako perspektivní možnost jeví výstavba komplexních spaloven. Takové spalovny by pak byly vybaveny jednak agregáty se spalovacím zařízením pro odstraňování komunálních odpadů, tak i agregáty s rotační pecí pro spalování průmyslových odpadů. Všechna tato spalovací zařízení by pak byla součástí energetické výroby. Komplexní spalovny by vyřešily otázku znečišťování životního prostředí a využívání druhotných energetických zdrojů jako zdroj energie tepelné či elektrické. [1], [4]

2.3.4 Produkty spalování

Pevné produkty spalování pocházejí ze tří různých zdrojů: z propadu jemných částic roštem, ze zbytku po spalování na konci roštu a z chlazení a čištění spalin. Zbytky

po spalování (popel, škvára a kovové části) jsou kontinuálně z konce posledního roštu odstraňovány a ochlazovány ve vodní nádrži. Velká část tepla je tak převedena do odpadních vod. Vzniká i vodní pára, která je posléze vrácena zpět do spalovací komory. [1]

V této kapitole jsou dále popsány hlavní produkty spalování odpadu, které vznikají ve spalovně SAKO Brno. Těmito produkty jsou škvára, popílek a end – produkt.

Škvára – vzniká přímo v procesu spalování. Shromažďuje se v zásobníku škváry ihned po ochlazení v mokrému vynašeči. Škvára, která se tak vytřídí, má sypkou konzistenci, tmavošedou barvu, je bez zápachu a měla by být bez nebezpečných vlastností. Mezi základní složky tohoto produktu patří SiO_2 (okolo 50%), CaO , Al_2O_3 , alkalické kovy, oxidy železa, sírany, fluoridy a také oxidy některých rizikových kovů. Látky typu PCB by neměla obsahovat. Využití takto vyseparované škváry může být k technickému zabezpečení skládek nebo je případně bez využití skládkována na příslušné skupině skládek.

Popílek – se řadí do odpadu s kategorií N, takže patří mezi nebezpečné odpady. Je produktem 1. stupně čištění spalin a je odseparován na elektrostatickém odlučovači popílku. Z pravidla se na něj váže největší podíl škodlivin typu těžkých kovů a organických perzistentních polutantů (PAU, PCB, PCDD a PCDF). K jeho vlastnostem patří sypká konzistence, šedá barva a je bez zápachu. Je shromažďován v síle popílku. Následně může být využit jako přídavek do míchaček solidifikační linky nebo případně může být použit k následné úpravě stabilizací a následně použit při rekultivacích.

End – produkt – se rovněž řadí do kategorie odpadů N, takže je odpadem nebezpečným. Vypadává z procesu spalování jako produkt 2. stupně čištění spalin na textilních filtrech. Chemické složení velice závisí na skladbě SKO. K jeho hlavním složkám patří CaCl_2 (okolo 60%), $\text{Ca}(\text{SO}_3)_2$ (okolo 20%), $\text{Ca}(\text{SO}_4)_2$ (okolo 3%), CaF_2 , nezreagovaný vápenný hydrát $\text{Ca}(\text{OH})_2$ a aktivní uhlí. Je produktem neutralizační reakce kyselých složek spalin a alkalického sorbentu (vápenné mléko). Mezi jeho vlastnosti patří zejména tmavošedá barva, bez zápachu, silně hygroskopický. Po shromáždění v síle end – produktu je později dávkován do míchačky solidifikační linky. Stejně jako popílek může být taky odvážen k následné úpravě stabilizací a následně může být použit při rekultivacích. [55]

Fotografie škváry, popílku a end – produktu jsou uvedeny v příloze č. 8.

2.3.5 Chlazení a čištění spalin

Zařízení pro čištění spalin pocházejících ze spalovací komory je jednou z nejdůležitějších částí spalovny. Ze spalin se odstraňují hlavně tuhé a kapalné znečišťující látky. Do těchto dvou skupin znečišťujících látek patří hlavně prachové částice, úletový popílek, kyselé složky, oxidy dusíku, nebezpečné organické polychlorované polutanty, rizikové kovy, dioxiny, aerosoly, chloridy a fluoridy. Každá škodlivá látka vyžaduje speciální přístup, řešení a konstrukci odlučovačů a jiných zařízení pro čištění spalin.

Z důvodu použití odlučovačů z lacinějších neúšlechtilých ocelí by teplota čištěných spalin neměla přesáhnout 350 °C. Jelikož teplota spalin opouštějících spalovací komoru je mezi 800 až 1300 °C, musí být spaliny zchlazeny pomocí jedné ze tří hlavních technologií. Výběr technologie pak závisí na velikosti a tím i na výkonu spalovacího zařízení, na cenách energie a na požadavcích na čištění spalin.

- Chlazení vodními sprchami – nejúčinnější metoda chlazení plyných spalin vodními sprchami v odpařovacích věžích, kdy není realizováno využití tepla spalin.
- Chlazení vzduchem – konstrukčně nejjednodušší metoda (injekce okolního studeného vzduchu do proudu žhavých spalin), ale jeho nevýhodou je zvýšení celkového objemu spalin až o 350 %.
- Chlazení ve výměnících – nejpřirozenější metoda, kdy teplo odebrané spalinám je využito k ohřevu spalovacího vzduchu nebo v kotli pro výrobu páry, případně pak pro výrobu elektrické energie. [1], [3]

Systémy boje proti škodlivinám obsažených ve spalinách můžeme rozdělit do dvou hlavních skupin: odlučování tuhých znečišťujících látek a odlučování plyných znečišťujících látek. Z hlediska technologie můžeme kroky rozdělit na suché odprášení, vlastní čisticí proces (suchý, polosuchý, mokrý) a dodatkové procesy (denitrifikace, adsorpce na aktivním uhlí nebo koksu). [2], [15]

2.3.5.1 Odlučování tuhých znečišťujících látek

K prvnímu stupni čištění odpadních plynů patří odlučování prachu. Dnešní odlučovače dokážou zachytit pevné částice, které mají velikost řádově v mikrometrech. Menší částice, které mají menší submikronickou velikost, většinou projdou i přes tak účinné odlučovače. Skrz tyto odlučovače můžou projít i aerosoly, které se nazývají

poléťavý popílek nebo submikronický prach. Při odlučování prachu může dojít i k částečnému odloučení těžkých kovů, které na prachu kondenzují. Odloučený prach může obsahovat i dioxiny. Takto odloučený prach se stává nebezpečným odpadem.

Volba odlučovacích zařízení většinou závisí na velikosti částic, na jejich rozdělení a tvaru, na některých fyzikálních vlastnostech, a také na hodnotě emisního limitu.

Při volbě odlučovacích zařízení je potřeba znát základní principy, které jsou pro jednotlivé typy odlučovačů typické. U mechanických odlučovačů jsou principy založeny na setrvačnosti a také gravitaci, u filtrů jsou založeny na difúzi a setrvačnosti, a u elektroodlučovačů jsou principy založeny na elektrostatické síle a také gravitaci. Musíme se rovněž rozhodnout, zdali využijeme suché, či mokré odlučování částic.

Pro odlučování tuhých znečišťujících látek se nejčastěji používají usazovací komory, cyklony, nárazové odlučovače, vírové odlučovače, odstředivé separátory, látkové filtry, mokré odlučovače a elektrostatické odlučovače. Ve spalovnách bývají nejčastěji používány elektrostatické odlučovače a tkaninové odlučovače, které slouží k bezpečnému odloučení prachu ze spalin spaloven. V malé míře jsou využity i Venturi pračky.

Elektrostatické odlučovače – mají oproti tkaninovým filtrům mnohem menší spotřebu energie. Používají se pro plyny s teplotou do 350°C a pro případ výpadku jsou v dnešní době konstruovány v pěti samostatně napájených sekcích, z nichž jedna je vždy rezervní.

Tkaninové odlučovače – lze použít pro plyny s teplotou do 250°C. Odloučený prach se zachycuje na tkanině, na které vytváří filtrační koláč. Značný odpor proudění plynu se odráží na vysoké spotřebě elektřiny, která je zapotřebí pro pohon ventilátoru spalin. Musíme dát pozor, aby filtrační tkaniny nezvlhly, protože by mohlo dojít k přilepení filtračního koláče na tkaninu. Tyto odlučovače patří k náročnějším z hlediska investic a údržby.

Venturi pračky – slouží k odlučování submikronických částic. Uvnitř pračky dochází ke shlukování aerosolu vody a prachu. Z pravidla se používají sériově řazené Venturi trubice malého průměru se společným odlučovačem kapek.

Mezi hlavní výhody použití suchých odlučovačů patří jednoduchá konstrukce, nízké pořizovací náklady a nízká spotřeba energie, u mokrých odlučovačů pak vyšší odlučivost, vhodné pro abrazivní a lepidlo prachy a možnost odloučení i plyných znečišťujících látek. U suchých odlučovačů však na druhou stranu narážíme na nízkou

odlučivost submikronických částic a u mokrých odlučovačů na vysokou spotřebu vody a s tím spojené provozování kalového hospodářství a také vyšší míra korozního působení.

2.3.5.2 Odlučování plynných znečišťujících látek

Odlučováním plynných znečišťujících látek máme na mysli zejména odlučování oxidů síry a oxidů dusíku. Kombinací těchto jednotlivých procesů pak vznikají procesy odsiřování a denitrifikace spalin. Dále se snažíme odloučit těžké kovy ve formě plynu (kadmium, rtuť, olovo, zinek), chlorovodík, fluorovodík a nespálené uhlovodíky. Pro odlučování plynných znečišťujících látek se používají mokré odlučovače, adsorbéry, absorbéry, přímé a katalytické spalovací systémy, zahušťovače.

Metody používané v odlučovačích plynných znečišťujících látek kyselého charakteru se dělí na mokré, polosuché a suché.

Mokré procesy – spočívají v absorpci plynů alkalicky reagujícími roztoky nebo suspenzemi NaOH a $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Nejprve dojde k ochlazení spalin na teplotu absorpce. Následuje zachycení významného podílu HCl a HF ve vodě. Hodnota acidobazické reakce se pohybuje kolem 0,5 až 1. Následně spaliny putují do dvoustupňové alkalické vypírky. Hodnota acidobazické reakce roste a pohybuje se kolem 6 až 7. Nastává odloučení zbytku HCl, HF a také převážné části SO_2 . Tyto procesy jsou ovšem spojeny se vznikem odpadních vod, které se zpracovávají v čistírnách odpadních vod.

Polosuché procesy – se realizují nástřikem suspenze vápna do rozprašovací sušárny. Dochází k ochlazení spalin na teplotu 120 – 180°C a k reakci mezi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ s HCl, HF a SO_2 . Vzniklý pevný produkt se odlučuje v tkaninovém odlučovači nebo elektrofiltru. Při aplikaci aktivního uhlí či polokoksu dochází k odloučení PCDD a PCDF. Oproti mokrým procesům však vzniká větší množství odpadního produktu, než u mokrých procesů.

Mokré procesy – spočívají v sorpci znečištěných plynných látek na pevných sorbentech CaO nebo NaHCO_3 . Sorpce nastává ve fluidním nebo úletovém reaktoru. Podobně jako u polosuchých procesů dochází k odloučení v tkaninovém odlučovači. Výsledný odpadní produkt se pohybuje také ve velkých množstvích.

Porovnání potenciálních výhod či nevýhod jednotlivých procesů čištění spalin je uvedeno v tabulce č. 1.

Tabulka 1: Porovnání potenciálních výhod a nevýhod procesů čištění spalin [17]

	Suché způsoby		Polosuché způsoby	Mokré způsoby
Koncentrace nečistot ve vyčištěných spalinách (mg/m^3)	HCl	5-10	5-10	1-5
	HF	< 1	< 1	< 1
	SO ₂	20-50	20-50	5-20
Stechiometrické množství přidávaného činidla	2-4		1,2-2	cca 1
Reakční produkt	pevná fáze		pevná fáze	rozpuštěné soli nebo kyseliny
Využitelnost zbytků z čištění	problematická		problematická	potenciálně možná
Množství produktu (kg/1t KO)	25-45		15-35	10-15

Při odlučování oxidů dusíku se nejčastěji používá selektivní nekatalytická redukce (SNKR) amoniakem či močovinou nebo selektivní katalytická redukce (SKR) amoniakem. V prvním případě dochází k redukci při teplotách 800 – 1000°C a v druhém případě je technologie založena na použití katalyzátoru a redukci, která probíhá při nižších teplotách od 300 do 350°C. V druhém případě dochází k rozkladu PCDD a PCDF.

Při odlučování oxidů síry se využívá zejména dvou procesů – průtočné a regenerační. Průtočné procesy jsou založeny na využití činidla, na které se SO₂ naváže a z procesu vystupuje ve formě produktu. Regenerační procesy použité činidlo regenerují a vracejí zpět na začátek procesu. Mezi průtočné procesy můžeme zařadit mokrou vápencovou metodu, která spočívá ve vypírání oxidu siřičitého vodní suspenzí vápna nebo vápence při teplotě okolo 60°C. K nejpoužívanějším regeneračním procesům patří proces natriumsulfitový. K dalším metodám využívaným k odsiřování spalin patří fluidní absorpce oxidu siřičitého vápnem a polosuchá vápenná metoda, která spočívá ve vstřikování vodní suspenze vápna do rozprašovací sušárny. [15], [16], [17]

2.3.6 Odvod spalin – komín

Komín ve většině případů slouží pouze jako odvod spalin do ovzduší, jelikož spalovny pracují obvykle s umělým tahem, který je vyvolán spalinovým ventilátorem. Výška komína závisí na hygienických a urbanistických podmínkách. Konstrukce komínů bývá zděná, železobetonová a nejčastěji ocelová s vyzdívkou nebo bez ní. Závisí hlavně na teplotě a složení odváděných spalin. Komíny mohou být také kotvené nebo samonosné. [1]

2.4 Legislativa

2.4.1 Základní pojmy

Odpad – je každá movitá věc, které se osoba zbavuje nebo má úmysl nebo povinnost se jí zbavit a přísluší do některé ze skupin odpadů, nebo je nutné její odstranění z hlediska ochrany životního prostředí a zdraví lidí, nebo která je vyřazena na základě zvláštního právního předpisu.

Komunální odpad – ve smyslu zákona č. 185/2001 Sb., § 4, odst. b, je veškerý odpad vznikající v lidských sídlech a na území obce při činnosti fyzických osob, pro kterou nejsou právními předpisy stanovena zvláštní pravidla nebo omezení, s výjimkou odpadů vznikajících u právnických osob nebo fyzických osob oprávněných k podnikání. Jedná se o odpad, který vznikne při čištění veřejných komunikací a prostranství, při údržbě veřejné zeleně. Komunální odpad je heterogenní směsí obsahující popel, papír, plasty, bioodpad, smetky, textil, gumu a sklo. Odstraňuje se především na skládkách, částečně však i spalováním.

Nebezpečný odpad – ve smyslu zákona č. 185/2001 Sb., se za nebezpečný odpad považuje ten, který vykazuje jednu nebo více nebezpečných vlastností, mezi které patří: výbušnost, oxidační schopnost, vysoká hořlavost, hořlavost, dráždivost, škodlivost zdraví, toxicita, karcinogenita, žíravost, infekčnost, teratogenita, mutagenita, ekotoxicita, schopnost uvolňovat vysoce toxické a toxické plyny ve styku s vodou, vzduchem nebo kyselinami a schopnost uvolňovat nebezpečné látky do životního prostředí při nebo po jejich odstranění.

Odstraňování odpadu – je takové nakládání s odpady, které vede k trvalému zabránění škodlivým vlivům na složky životního prostředí. Jde zejména o termickou, chemickou, fyzikální a biologickou úpravu, o vypouštění do vodních těles, skládkování a konečné či trvalé ukládání do podzemních prostor. Dle § 23 Zákona č. 185/2001 Sb., může být spalovna odpadů nazvána pouze jako zařízení k odstraňování odpadů tehdy, jestliže nesplní podmínky energetického využití spalovaného odpadu.

Energetické využití odpadu – je využití odpadu jako druhotný zdroj energie zejména procesem spalování, který zhodnocuje energetický obsah tuhého komunálního odpadu. Dle § 23 Zákona č. 185/2001 Sb., se spalování odpadů považuje za energetické využití odpadů pouze tehdy, jestliže odpad nepotřebuje po vlastním zapálení ke spalování podpůrné palivo a vznikající teplo se použije pro potřebu vlastní nebo dalších osob, nebo

jestliže se odpad použije jako přídavné palivo v zařízeních na výrobu energie. [10], [14], [15], [18], [21], [26]

Spalovna odpadu – podle Nařízení vlády č. 354/2002 Sb., § 2, odstavce d), je spalovnou odpadu „technická jednotka se zařízením určeným ke spalování odpadu s využitím nebo bez využití vzniklého tepla, přímým oxidačním spalováním, jakož i se zařízením určeným pro jiné způsoby tepelného zpracování, zejména pyrolýzu, zplyňování nebo plazmové procesy, pokud jsou vzniklé látky následně spáleny. Spalovna odpadu zahrnuje kromě všech spalovacích linek, zařízení pro příjem, skladování a předzpracovávání odpadu na místě, systémy přívodu odpadu, paliva a vzduchu, kotle, zařízení a systémy pro řízení spalovacího procesu a pro monitorování a zaznamenávání spalovacích podmínek a emisí.“ [24]

2.4.2 Právní předpisy v oblasti odpadového hospodářství a spalování odpadu

V této kapitole bych chtěl uvést seznam zákonů, nařízení a vyhlášek. V oblasti odpadového hospodářství a spalování odpadu jich existuje obrovské množství, proto uvádím pouze nejdůležitější legislativní předpisy.

Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů.

Zákon č. 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší a o změně některých dalších zákonů.

Nařízení vlády č. 354/2002 Sb., kterým se stanoví emisní limity a další podmínky pro spalování odpadu.

Nařízení vlády č. 197/2003 Sb., o Plánu odpadového hospodářství České Republiky.

Nařízení vlády č. 206/2006 Sb., kterým se mění nařízení vlády č. 354/2002 Sb., kterým se stanoví emisní limity a další podmínky pro spalování odpadu.

Vyhláška MŽP a MZ č. 376/2001 Sb., o hodnocení nebezpečných vlastností odpadů.

Vyhláška MŽP č. 381/2001 Sb., kterou se stanoví Katalog odpadů, Seznam nebezpečných odpadů a seznamy odpadů a států pro účely vývozu, dovozu a tranzitu odpadů a postup při udělování souhlasu k vývozu, dovozu a tranzitu odpadů (Katalog odpadů).

Vyhláška MŽP č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady. [14], [19]

Česká republika je členský stát Evropské unie, proto je třeba uvést jednu z nejdůležitějších právních norem a tou je Směrnice Rady 75/442/EEC z 15. 7. 1975 o odpadech (novelizace: 91/156/EEC, 96/350/EC). [20]

2.4.3 Legislativní zařazení spalovny komunálních a nebezpečných odpadů

Podle zákona č. 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší a o změně některých dalších zákonů, jsou spalovny odpadů zařazeny do kategorie zvláště velkých nebo velkých stacionárních zdrojů a podle druhu spalovaného odpadu se rozlišují na:

- a) spalovny nebezpečného odpadu,
- b) spalovny komunálního odpadu,
- c) spalovny jiného než nebezpečného a komunálního odpadu.

Do kategorie zvláště velkých stacionárních zdrojů se zařazují spalovny:

1. podle písmena a), pokud jejich jmenovitá provozní kapacita množství odstraňovaného odpadu je větší než 10 tun za den,
2. podle písmena b), pokud jejich jmenovitá provozní kapacita množství odstraňovaného odpadu je větší než 3 tuny za hodinu,
3. podle písmena c), pokud jejich jmenovitá provozní kapacita množství odstraňovaného odpadu je větší než 50 tun za den.

Do kategorie velkých stacionárních zdrojů se zařazují spalovny s provozní kapacitou menší, než je provozní kapacita spalovny u zvláště velkých stacionárních zdrojů. [22], [23]

2.4.4 Provozní podmínky a řízení spalovny komunálních a nebezpečných odpadů

Provozní podmínky a řízení spaloven odpadů je legislativně ošetřeno v Nařízení vlády č. 354/2002 Sb., které rovněž stanovuje emisní limity, podmínky a požadavky. Toto Nařízení vlády tedy obsahuje:

- zařazení spaloven do zdrojů znečišťování,
- povinnosti při předávání a přebírání odpadů,
- stanovuje provozní podmínky a vybavení spaloven,
- podmínky provozování zařízení na čištění odpadních plynů,

- kontrolu a monitorování provozních parametrů a požadavky na měření,
- podmínky pro zpracování a odstraňování odpadu z provozu spalovny,
- ustanovení pro mimořádné provozní podmínky (poruchy, závady, odstávky).

Provozní podmínky jsou obsaženy v § 5 Nařízení vlády č. 354/2002 Sb. ve znění:

„Spalovny odpadu se projektují, staví, vybavují a provozují způsobem, který zaručuje, že

a) se zajistí dostatečná doba setrvání spalovaného odpadu ve spalovacím prostoru k dokonalému vyhoření a je dosaženo takové úrovně vyhoření, že škvára a popel po spálení odpadu obsahuje méně než 3 % celkového organického uhlíku nebo ztráta žíháním je menší než 5 % hmotnosti suchého materiálu. Pokud je to k dosažení tohoto požadavku nutné, použijí se vhodné techniky předúpravy odpadu,

b) se na nejmenší možnou míru potlačí obtěžování zápachem. V zásobníku odpadu spaloven komunálního odpadu se trvale udržuje podtlak a odsávaný vzduch se přivádí do ohniště. Pokud neprobíhá spalování, vzduch odsávaný ze zásobníku odpadu se odvádí do výduchu projednaného s inspekcí,

c) plyn vznikající při procesu se za posledním přívodem spalovacího vzduchu řízeným způsobem ohřeje ve všech místech profilu toku spalin, a to i za nejméně příznivých podmínek, na teplotu nejméně 850 °C po dobu nejméně 2 sekund, měřeno v blízkosti vnitřní stěny nebo v jiném reprezentativním místě spalovací komory projednaném s inspekcí,

d) pokud se spaluje nebezpečný odpad s obsahem halogenovaných organických sloučenin (vyjádřených jako chlor) vyšším než 1 %, odpadní plyn se ohřeje na teplotu nejméně 1100 °C po dobu nejméně 2 sekund,

e) každá linka spalovny odpadu se vybaví alespoň jedním pomocným hořákem, který automaticky udržuje teplotu ve spalovací komoře za posledním přívodem spalovacího vzduchu na hodnotě 850 °C nebo 1100 °C podle spalovaného odpadu. Tento hořák je v činnosti i během spouštění provozu tak, aby byla zajištěna stanovená nejnižší teplota po celou dobu operace, kdy se vkládá odpad, nebo při zastavování provozu po celou dobu, kdy se ve spalovací komoře ještě nachází nespálený odpad,

f) během spouštění a zastavování provozu, nebo když teplota spalin klesne pod stanovenou nejnižší teplotu, nesmějí se k pomocným hořákům přivádět paliva, která

mohou způsobovat jiné nebo větší emise znečišťujících látek, než jaké vznikají při spalování plynového oleje, zkapalněného plynu nebo zemního plynu.“ [24], [25]

Technické požadavky na nakládání s odpady u spaloven jsou zakotveny ve Vyhlášce MŽP č. 383/2001 Sb. Podle paragrafu č. 9:

a) musí být suché prachové zbytky vzniklé při spalování komunálních a nebezpečných odpadů přepravovány a soustřeďovány tak, aby bylo zamezeno znečištění okolí druhotnou prašností a byly dodrženy požadavky zvláštních právních předpisů,

b) smějí být popílký ukládány pouze po úpravě stabilizací a to na jednodruhových skládkách. [27]

2.4.5 Emisní limity pro spalování odpadů

Obecně je emisní limit chápán jako nejvýše přípustné množství znečišťující látky vypouštěné do ovzduší ze zdroje znečišťování vyjádřené jako hmotnostní nebo objemová koncentrace znečišťující látky, nebo vyjádřené jako hmotnostní tok nebo hmotnostní množství znečišťující látky za jednotku času. Pro spalovny odpadu platí emisní limity specifické. [10], [12], [13], [22]

Emisní limity pro spalovny odpadu jsou uvedeny v Nařízení vlády č. 354/2002 Sb., v § 6 a dále v příloze č. 5 k tomuto nařízení. Vybrané specifické emisní limity jsou uvedeny v příloze č. 3, 4 a 5. Spalovny odpadu by měly být v souladu s těmito limity a měly by být rovněž podle nich projektovány, stavěny, vybaveny a provozovány.

Pro dioxiny a furany má emisní limit hodnotu - 0,1 ng TE/m³ - a je vypočten z průměrných hodnot součtového obsahu polychlorovaných dibenzodioxinů a dibenzofuranů naměřených ve vzorku odebraném během období nejméně 6 hodin a nejvýše 8 hodin, v němž jsou jednotlivé složky přepočteny pomocí koeficientů ekvivalentu toxicity.

Emisní limity oxidu uhelnatého ve spalínách během provozu (mimo dobu spouštění a odstavování) jsou 50 mg/m³ při stanovení průměrné denní hodnoty, a 150 mg/m³ u minimálně 95 % všech stanovení průměrné desetiminutové hodnoty nebo 100 mg/m³ u všech stanovení průměrné půlhodinové střední hodnoty provedených během každého 24 hodinového období. U technologie fluidního spalování je přípustná průměrná hodinová hodnota nejvýše 100 mg/m³. [24]

3 TEORIE TVORBY TOXICKÝCH PRVKŮ A JEJICH ÚČINKY NA ZDRAVÍ LIDÍ

3.1 Toxicita a toxické prvky

Toxicita je vlastnost některých chemických prvků a sloučenin, která může vyvolat otravu člověka nebo zvířat. Otrava může nastat po požití, vdechnutí či absorpcí toxické látky přes kůži. Tyto látky pak mohou mít toxické účinky na krev, krvetvorbu, játra, ledviny, centrální a periferní nervovou soustavu a také na imunitní systém. Z hlediska kvantity je důležitý fakt, že toxické látky v malých dávkách nevyvolávají biologický efekt. Při opakovaném dávkování a působení způsobují chronické otravy, protože jejich vylučování a toxické působení je pomalé a postupně se hromadí v organismu. Abychom mohli toxicitu jednotlivých prvků a sloučenin měřit a srovnávat, byla zavedena tzv. smrtelná dávka (LD – Lethal Dose). [12], [32]

V této diplomové práci se budu zabývat hlavně některými vybranými toxickými prvky, které ve větších koncentracích mohou být pro organismus velmi toxické, a které mají schopnost se bioakumulovat v živých organismech. Zabývat se tedy budu rizikovými kovy, zejména arsenem, kadmíem, chrómem, kobaltem, thaliem, rtutí, antimonem, olovem, mědí, zinkem, manganem, niklem a vanadem. [33]

3.2 Definice rizikových kovů

Všechny kovy jsou obecně prvky s podobnou stavbou atomů, s nízkou elektronegativitou a s nízkým obsahem volně vázaných valenčních elektronů. Důležitou vlastností všech kovů je přítomnost kovové vazby, kterou jsou spojeny všechny atomy. Kovová vazba se u kovů projevuje odevzdáváním vnějších elektronů z každého atomu za vzniku kladně nabitých iontů, které pak vytvářejí krystalovou mřížku. Elektrony, které se z atomů uvolňují, se volně pohybují a vytvářejí tak elektronový plyn (mrak). [31]

Mezi rizikové kovy patří zejména kovy těžké, které mají specifickou hmotnost větší než $4,5 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ a jsou známé pro jejich toxické účinky na organismy již při nízkých koncentracích. Těžké kovy rovněž způsobují kontaminaci potravních řetězců. Pronikají do potravních řetězců v oblastech průmyslových center, ze závodů zpracovávajících železné rudy, z automobilové dopravy, ze zemědělské činnosti používáním průmyslových hnojiv a fungicidních přípravků. Přes tyto potravní řetězce se dostávají do těl organismů, ve kterých se akumulují a přetrvávají dlouhá období. [10]

3.3 Charakteristika jednotlivých rizikových kovů a jejich toxicita

Vybrané rizikové kovy jsou uvedeny v přehledu v tabulce č. 2. V experimentální části této diplomové práce se budu zabývat pouze rizikovými prvky, na které se v dnešní době vztahuje platná legislativa. Těmito prvky jsou: As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Sb, Tl, V a Zn.

Tabulka 2: Základní vlastnosti rizikových kovů [29], [30], [31], [34], [35], [39], [40], [41], [42]

Kov	Atomové číslo	Atomová hmotnost	Hustota [kg·m ⁻³]	Bod tání [°C]	Bod varu [°C]	Oxidační čísla
Al	13	26,98	2700	660	2450	+III
As	33	74,92	5780	817	614	-III, +III, +V
Cd	48	112,41	8650	321	765	+II
Co	27	58,93	8900	1495	3100	+II, +III
Cr	24	52,00	7200	1920	2480	+II, +III, +IV
Cu	29	63,55	8920	1083	2582	+II, (+I)
Fe	26	55,85	7860	1535	3070	+II, +III
Hg	80	200,59	13530	-39	357	+II, (+I)
Mn	25	54,94	7300	1247	2090	+II, +IV, +VII
Ni	28	58,69	8900	1455	3350	+II
Pb	82	207,19	11340	328	1749	+II, +IV
Sb	51	121,76	2050	630	1640	+II, +IV
Tl	81	204,37	11800	302	1460	+III, (+I)
V	23	50,94	6110	1915	3350	+III, +IV, +V
Zn	30	65,41	7140	420	907	+II

3.3.1 Al – Hliník

Hliník a jeho sloučeniny jsou v přírodě velmi rozšířeny a s jeho masivními dávkami se denně setkává nejen člověk, ale zejména i rostliny a ostatní organismy. Patří mezi nemagnetické a velmi lehké kovy, toxikologicky však méně významné. Hliník je měkký kov, který se vyznačuje velkou vodivostí, na vzduchu rychle oxiduje. Při obrábění nevytváří jiskry, což je jeho technologickou výhodou. Jeho sloučeniny jsou málo rozpustné a jeho pevnost není příliš vysoká, malé množství některých prvků (Cu, Mg, Si, Mn) podstatně zlepši jeho mechanické vlastnosti. V případě, kdy je vakuově napařený na sklo, má výbornou a poměrně stálou odrazivost. V medicíně se jeho rozpustné nehydrolyzující

solí používají jako stahující a protizánětlivé přípravky, jako přípravky proti překyselení žaludku a také jako přípravky proti zvýšené teplotě.

Ve formě rozpustných solí má však ve větším množství toxické účinky. Bezvodý chlorid hlinitý může mít dráždivé účinky na pokožku, sliznice a oči. Podle vědeckých výzkumů se hliník podílí na onemocnění nervových tkání v mozku při Alzheimerově nemoci. K nebezpečnému hromadění hliníku podle odhadů mohlo dojít při přípravě kyselých jídel v kuchyňském nádobí vyrobeného z hliníku. Tento fakt však stále nebyl vědecky dokázán. Inhalace oxidu hlinitého a jiných jemných prachů sloučenin hliníku může způsobit aluminosu, která způsobuje plicní nálezy jako u silikosu. [10], [11], [35]

3.3.2 As – Arsen

Arsen je ocelově šedý, v pevném stavu velmi křehký, krystalický a toxický kov, který se v přírodě vyskytuje nejvíce jako arsenopyrit. Arsen je jedním z nejstarších známých anorganických jedů a jeho sloučeniny jsou vysoce toxické, akutně i chronicky, některé i s prokázanou karcinogenitou. Jako prvek existuje v několika modifikacích. K nejznámějším patří modifikace žlutá a šedá. Využívá se v insekticidních prostředcích, mořidlech, osivech, barvách a různých slitinách. Netoxický kovový arsen může být v organismu přeměněn na své toxické sloučeniny.

Nejznámější sloučeninou je arsenik (oxid arsenitý), který se objevuje jako nečistota v některých technických plynech. Smrtelná dávka se pohybuje okolo 120 mg. Množství 10 mg denně vyvolává chronickou otravu, která se projeví šedým zabarvením pokožky, bílými proužky na nehtech, vysokým krevním tlakem a srdeční ischemií. Na tuto látku existuje v některých případech i návyk. Významnými mutageny, teratogeny a karcinogeny jsou sloučeniny trojvazného arsenu. Další vysoce toxickou sloučeninou je arsan s jeho typickým česnekovým zápachem. Akutní otrava může mít smrtelné následky. Může vyvolat hemolýzu krve, plicní edém a nakonec srdeční selhání. Negativně působí i na centrální nervovou soustavu. Průvodním jevem je vysoký obsah bílkovin v moči, která je zbarvena hnědočerveně díky přítomnosti krve. Může dojít až k úplnému selhání ledvin. Deriváty této sloučeniny se používají jako bojové plyny (Lewisit). Ze živočichů jsou na přítomnost arsenu nejcitlivější včely, které na následky působení těchto látek umírají. Často se arsen a jeho sloučeniny akumuluje v tělech dobytka, přes který se pak dostává až do mléka. [10], [11], [35]

3.3.3 Cd – Kadmium

Kadmium je poměrně vzácný, modravě bílý, měkký, lehce tavitelný, kujný kov, který se získává hlavně ze zinečnatých rud. Kadmium a jeho soli jsou velice toxické a nebezpečné. V metalurgii byl jeden z nejlepších pasivačních prostředků. Do životního prostředí a do atmosféry se dostává hlavně spalováním nekvalitního uhlí a olejů.

Kadmium již v malých dávkách toxicky působí na všechny buňky a způsobuje chemickou kastraci. Jeho ionty blokují enzymy a biologické makromolekuly, zasahují do metabolismu cukrů a inhibují vylučování insulinu. Společně se zinkem a vápníkem jsou přirozenou složkou bílkovin v játrech. V ledvinách však může dojít k jeho akumulaci a způsobit tak nebezpečné patologické projevy. U dobytka kadmium nahrazuje vápník v kostech, způsobuje anémii a neplodnost. U člověka je kadmium známé svou karcinogenitou, jež je způsobena chronickou expozicí, která může způsobit až smrt. Dávka vyšší jak 10 mg způsobuje zvracení, poruchy trávicího ústrojí, poškození jater a ledvin. Mimořádný toxikologický význam má oxid kademnatý a páry kovového kadmia a jeho slitin, které se uvolňují již při teplotě 321 °C a způsobují zánět plicního epitelu a plicní edém. Nebezpečné jsou i dobře rozpustné soli dusičnan a síran kademnatý. Zlatožlutá zubní sklovina, bolesti zad a nohou jsou indikátor otravy. U lidí, kteří pracují s kadmiem a jeho slitinami, bylo dokázáno zvýšené množství rakoviny prostaty. [10], [11], [29], [35]

3.3.4 Co – Kobalt

Tento kov je typickým ferromagnetickým prvkem. Je stříbrolesklý s modrým nádechem, velmi pevný a tvrdý. Vyskytuje se v přírodě ve dvou modifikacích, které se vyznačují různou stabilitou při různých teplotách. Tyto modifikace mají rovněž vliv na fyzikální vlastnosti kovů.

Pro řadu živých organismů je kobalt důležitý již ve stopovém množství. Ve velmi malém množství v půdě prokazatelně zlepšuje zdravotní stav pasoucího se dobytka. Kobalt můžeme zařadit mezi důležité členy vitamínů skupiny B.

Při velkých koncentracích může dojít k otravě. Do organismu se kobalt může dostat potravou, vdechováním a přes pokožku. Příznaky otravy se obvykle projevují při dlouhodobé expozici vysokými dávkami. V případě dlouhodobé expozice byly pozorovány dýchací problémy v podobě astmatu, v horších případech až v podobě plicní fibrózy. Na pokožce může kontakt s kobaltem způsobit vyrážky, které pomalu mizí. Při dlouhodobé

expozici může způsobit nevolnost, zvracení, problémy se štítnou žlázou, neurologické problémy a také problémy se zvýšenou krevní hustotou. [39]

3.3.5 Cr – Chróm

Chróm je bílý až stříbrolesklý, houževnatý, chemicky odolný a tvrdý kov, který se velice často používá v metalurgii, při vydělávání kůže a při svařování. Toxicita samotného chrómu je různá. Chróm v druhém a třetím oxidačním stupni není zdaleka tak toxicky nebezpečný, jako chróm v jeho šestimocné formě. Jeho formy se však v organismech mohou za různě dlouhou dobu měnit a můžou pak z forem méně toxických vznikat formy mnohem nebezpečnější. Patří však i mezi mikrobiogenní prvky. Ionty chrómu pozitivně ovlivňují metabolismus cukrů a tuků. Jeho denní dávka by měla být ve výši 20 mg. Netoxický kovový chróm se používá k ochraně nádobí, příborů a koupelnového příslušenství.

Sole dvojmocného a trojmocného chrómu mohou výjimečně způsobit podráždění, či různé alergické reakce. Šestimocný chróm má mnohem toxičtější účinky. Při akutní otravě vdechnutím může chróm způsobit zvracení, oligurii, anurii a poškození dýchacích cest, hlavně nosní sliznice, ve které se mohou tvořit vředy a může dojít až k její perforaci. Akutní otrava způsobená ve vodě rozpustnými sloučeninami má za následek poleptání kůže a následný šok nebo až smrt. Chronická otrava se může projevit dermatitidou, konjunktivitidou a hepatitidou. Karcinogenita a mutagenita je však jeho nejhorší vlastností. Má také podezření na teratogenitu. Způsobuje rakovinu plic a nosu. Patří mezi silné alergeny a má nefrotoxické a hepatotoxické účinky. [10], [11], [31]

3.3.6 Cu – Měď

Ryzí měď se v přírodě nachází velice vzácně a to ve formě chalkosinu a chalkopyritu. Tento kov má načervenalé zbarvení, je měkký a snadno zpracovatelný. Měď je biogenní prvek, který je ve stopovém množství obsažen i v organismech. Vyskytuje se jednak v metaloenzymech v jednomocné, či dvojmocné formě, a také v krvi, kde je vázána na α -globuliny. U některých měkkýšů je obsažena v centrálním atomu dýchacího barviva. Nedostatek mědi se projevuje anémií a má za následek různé poruchy zdraví, neurologické poruchy a poruchy plodnosti.

Při delší expozici mědi ve formě roztokou nebo ve formě měďnatých par je měď toxická. Speciálně inhalace oxidu měďnatého vyvolává horečku, nauzeu, poškozuje játra a

ledviny a lokálně dráždí pokožku. Smrtelná dávka mědi ve formě síranu měďnatého je 8 - 10 g. V těchto koncentracích je měď dráždivá, hepatotoxická, nefrotoxická a hematotoxická. Na ionty Cu^{2+} jsou velice citlivé řasy. Již při velice nízkých koncentracích brzdí jejich růst. Velice jedovatý je rovněž chlorid měďný. [10], [11], [31]

3.3.7 Fe – Železo

Železo je nejrozšířenější kov na Zemi, který se v životním prostředí vyskytuje nejvíce ve formě magnetitu, sideritu a hematitu. Železo je měkký, světle šedý až bílý, feromagnetický, poměrně reaktivní kov, který patří mezi hlavní biogenní prvky organismů a je součástí hemoglobinu a cytochromů. Denní dávka železa se pohybuje mezi 10 až 20 mg. Železnaté ionty, které jsou obsaženy v játrech a slezině, jsou transportovány krví.

Mnohem toxičtější jsou ionty železnaté a železité. Akutní otrava není tak významná, jako dlouhodobá expozice. Chronická expozice oxidu železitého způsobuje horečku. Síran železnatý je hepatotoxický a může dráždit žaludeční sliznici. Nejzávažnější toxické účinky však náleží pentakarbonylu železa, který je velmi nebezpečný po požití, při inhalaci a dokonce dobře proniká i přes pokožku. Smrtelná dávka byla odhadnuta v rozmezí 2 až 10 g. Toxické příznaky vykazuje železo již při hodnotě vyšší než 20 mg, které pak způsobuje gastritidu, enteritidu, inhibuje přeměny fibrinogenu, dochází k degeneraci myokardu, zvýšené permeabilitě krevních kapilár a k hypotenzi. Další významné toxické sloučeniny jsou karbonyly železa. [10], [11], [31]

3.3.8 Hg – Rtuť

Rtuť je těžký neželezný, stříbrně bílý, velmi hutný a proměnlivý kov, který je za normální teploty tekutý a spolu s jeho sloučeninami patří mezi nejstarší známé průmyslové jedy. Mimo to vykazuje další významnou negativní vlastnost – tenzi par. Nebezpečná je jednak rtuť atomární, ale i její sloučeniny. Ty jsou neurotoxické a nefrotoxické, většinou však závisí na formě a typu sloučeniny. Sulfid rtuťnatý (rumělka), který patří mezi nejznámější sloučeniny, není za jed považován. Může se ovšem v organismech po delší době přeměnit na mnohem toxičtější sloučeniny.

Inhalační otrava kovovou rtutí je pro člověka nejnebezpečnější. Vstřebává se až 80 % a dobře se vstřebává i kůží. Akutní otrava se může projevit stomatitidou, sliněním, kovovou pachutí v ústech, bolestí břicha, krvavým průjmem a pneumonií. Chronické otravy se pak projevují tvorbou šedých lemů kolem zubních krčků, třesem, nefritidou,

nechutenstvím, poškozením mozkové kůry a jinými neurologickými poruchami. Rtuť je toxická pro všechny buňky a způsobuje inhibici sulfhydrylové skupiny proteolytických enzymů. Vylučuje se ledvinami, kde se rovněž akumuluje a způsobuje tak velké problémy pro samotné ledviny. Pro člověka je smrtelná dávka rtuti v jakékoliv formě 1 g. Organické sloučeniny rtuti se do životního prostředí dostávají celkově z průmyslu při spalování uhlí a topných olejů, dostávají se do potravních řetězců a bioakumulují se v tělech organismů. Asi nejzávažnější případ kontaminace rtuti je akumulace v tělech mořských ryb, jejichž konzumace je v některých světových oblastech díky množství naakumulované rtuti přísně zakázána. [10], [11], [29]

3.3.9 Pb – Olovo

V přírodě se nejvíce vyskytuje v galenitu. Je to kov modrobílý, velmi těžký, mimořádně měkký a ohebný. Olovo patří mezi nejznámější toxické kovy a jeho sloučeniny mezi závažné jedy. V minulosti byl používán především jako antidetonační přísada do benzínu. Vysoké nebezpečí hrozilo při potřísnění benzinem, jelikož se tato látka snadno absorbuje nejen plicemi, ale i kůží a proto je třeba následné důkladné omytí vodou a mýdlem. V dnešní době je však hodnota olova v benzínu nulová.

Olovo je známé svými chronickými účinky. Tyto účinky se u člověka mohou projevit bledou barvou obličeje a šedým lemem na dásních, mohou se projevit mozkovým edémem a degenerací svalových a nervových buněk. Otravy sloučeninami olova jsou známé již od středověku, kdy se tyto sloučeniny používaly v potrubí, v glazurách, v pigmentech a v kosmetice. Bohužel i v posledních desetiletích dochází ke zvýšenému zamoření životního prostředí jeho sloučeninami. Kovové olovo téká při teplotě 600 °C, a proto riziko vdechování par olova nad roztavenými slitinami není vysoké. Jde o kumulativní jed, který má schopnost bioakumulace a perzistence, hromadí se v jednotlivých složkách životního prostředí. U člověka dochází k akumulaci hlavně v kostech a má také podezření na karcinogenní účinky v plicích a ledvinách. Poločas rozpadu olova v krvi je 20 dnů, v erytrocytech 35 dnů a v kostech 600 až 3000 dnů. Ionty olova, které se uvolňují z kostí mohou působit teratogenně, mohou procházet placentou, kde negativně působí na embryo. Olovo poškozuje nejen játra, ledviny, cévy, ale i celý nervový systém. Psychické poruchy a pohybové potíže bývají průvodním jevem při intoxikaci. Metabolismus je často napadán olovnatými solemi. Moč pak bývá využívána pro stanovení

expozice sloučeninám olova. U dětí dlouhodobě vystavených malým dávkám můžeme pozorovat větší výskyt poruch sluchu, horší výsledky ve škole a anémii.

Do pitné vody se olovo dostává působením oxidu uhličitého, který přispívá k rozpouštění oxidů olova. Další nebezpečný jed je uhličitán olovnatý, který se rozpouští v žaludečních šťávách. Na obklady se někdy používá octan olovnatý. Těžkou otravu vyvolává množství 2 až 3 g olova, přičemž 20 až 25 g je pro člověka letální. Dalším zdrojem olova je tiskařský průmysl, výroba akumulátorů, pájek, kabelů a v menší míře i různé spalovací procesy. Účinný způsob dekontaminace je použití bakterií rodu *Xanthomonas*, které olovo metabolizují. U velmi malých dávek olova je však pozorován jev hormese. Tento jev má stimulační účinek, podporuje syntézu DNA a bílkovin, podporuje buněčné dělení a produkci erytrocytů. [10], [11], [30], [31]

3.3.10 Mn – Mangan

Mangan je světle šedý, paramagnetický, tvrdý kov patřící mezi další stopové prvky organismů a je součástí několika enzymů. Potřebná denní dávka pro člověka se pohybuje okolo 4 mg. Hned po železe je další nejrozšířenější těžký kov.

Největším zdrojem znečištění jsou ocelárny a tepelné elektrárny. Využívá se jako účinný desinfekční prostředek. Mezi jeho významné sloučeniny patří i manganistan draselný, který se využívá při titracích jako oxidačně redukční činidlo. V některých jeho formách však může být i toxický.

Akutní otrava není až tak závažná, jako otrava chronická. Dlouhodobé působení sloučenin manganu může mít za následek neurologické a neuropsychické poruchy včetně výskytu Parkinsonovy nemoci. Tato otrava se projevuje u lidí pracujících s čistým manganem, ferromanganem a oxidem manganičitým. Chronická otrava se také může projevit poškozením funkce ledvin, zvýšenou činností štítné žlázy a je postižena i krevtvorba. Manganaté soli jsou toxické nejméně, protože se špatně v organismech vstřebávají. Ovšem soli manganité už jsou mnohem toxičtější. Manganisté ionty působí dráždivě a leptavě. [10], [11], [37]

3.3.11 Ni – Nikl

Nikl je bílý, feromagnetický, kujný a tažný kov a je dalším toxickým prvkem, který se do životního prostředí dostává zejména z hutí a při spalování nekvalitního uhlí a olejů. Samotný nikl a i jeho sloučeniny patří mezi závažné jedy s karcinogenními účinky.

Akutní otravy niklem se projevují podrážděním trávicího ústrojí, poškozením krevních cév, poškozením cév v mozku a mají nefrotoxické a neurotoxické účinky. Jako alergen působí samotný kovový nikl, který při kontaktu s kůží vyvolává vyrážky, může rovněž vyvolat nádorové bujení v plicích, nosních dutinách a vzácně v hltanu. Karcinogenní účinky na lidi a na zvířata byly prokázány také u dvojmocného niklu. Sole niklu jsou rovněž karcinogenní, v horším případě mohou působit až mutagenně, teratogenně a genotoxicky. V přírodě jsou nejvíce postižené vodní ekosystémy, speciálně vodní organismy (ryby). Vysokou toxicitu vykazuje tetrakarbonyl niklu, jehož akutní inhalační expozice vyvolává nevolnost, kašel, závratě, bolesti hlavy, zvracení, horečky, může se dokonce vyvíjet plicní edém, hyperémie plic, dochází k degeneraci jater, ledvin a dalších orgánů a až k následné smrti. [10], [11], [38]

3.3.12 Sb – Antimon

Antimon je prvek stříbrolesklý kovový až polokovový. Vyskytuje se buď ve formě modro-bílého kovového antimonu nebo ve formě žlutého a černého nekovového antimonu. V zemské kůře je poměrně vzácný. Získává se hlavně z antimonitu.

Toxické účinky na organismus jsou velice blízké sloučeninám arsenu, bismutu a olova. Oxidy jsou málo toxické díky nízké rozpustnosti. Sloučeniny antimonu jsou však velmi toxické, což naznačuje fakt, že smrtelná dávka je v rozmezí již od 100 do 200 mg. U člověka působí na dýchací soustavu. Silně dráždí sliznice, působí hemolýzu, způsobuje bolesti hlavy, celkově působí na centrální nervovou soustavu. Může způsobit stejnou otravu, jako oxid arsenitý. [10], [11], [41]

3.3.13 Tl – Thalium

Thalium se nalézá v přírodě na mnoha místech, ale ve většině případů pouze v malých koncentracích. V přírodní formě se vyskytuje v sulfidech spolu se zinkem, mědí a železem. Tento kov patří mezi kovy měkké, na čerstvém řezu je lesklý, na vzduchu však ihned oxiduje za vzniku šedého zbarvení. Soli thalia jsou většinou bezbarvé a poměrně těkavé. [34]

Thalium patří mezi velmi nebezpečné kovy, zejména jeho soli patří mezi vysoce toxické jedy. Dříve se thalium používalo k depilačním účelům a jako jed na hlodavce – rodenticidní prostředek.

Tento kov má podezření na teratogenitu a karcinogenitu a způsobuje degenerativní změny všech buněk, především ve vlasových folikulech, což má za následek typické vypadávání chlupů a vlasů již při chronických malých dávkách. V případě akutních otrav může nastat delirium, křeče, bezvědomí a smrt. Smrtelná dávka je 1 g absorbovaného thalia, které je obsažené např. v 2,5 g Ti_2SO_4 (síran thalný). Menší dávky vyvolávají krvavé zvracení, bolesti břicha, prsou, slinění a zrychlený tep. Typickým příznakem je vysoký obsah bílkovin v moči. [10], [11]

3.3.14 V – Vanad

S jeho fyzikálními vlastnostmi se řadí mezi kovy tvrdé, šedo – bílé, kujné a má vysoký bod tání a varu. Chemicky je značně odolný. V chemických sloučeninách má řadu mocenství.

Vanad je mikrobiogenní prvek, který hraje roli při mineralizaci kostí a zubů. Podílí se na metabolismu katecholaminů a lipidů. Ve větším množství a také v parách se stává toxickým. Jeho oxid způsobuje podráždění spojivek a dýchacích cest. Může mít nefrotoxické a neurotoxické účinky. Celkovou bolestí, zelenočerveně zbarveným jazykem, zvracením, průjmem, poklesem krevního tlaku, zrychlením tepu srdce, sníženou hladinou krevního cukru, selháním jater a nadledvinek se projevuje chronické působení. Naopak dlouhodobý nedostatek vanadu se může projevit chudokrevností. [10], [11], [40]

3.3.15 Zn – Zinek

Zinek je měkký, lehce tavitelný, modro – bílý kov se silným leskem. Patří mezi kovy lehce tavitelným a k nejsnáze těkajícím. S velkým množstvím kovů je neomezeně mísitelný, tvoří s nimi sloučeniny a slitiny.

Zinek má velmi významný vliv na správný vývoj všech živých organismů. Patří mezi mikrobiogenní prvky. Nedostatek zinku působí na organismy stejně negativně jako velké koncentrace. Toxické jsou hlavně jeho sole. Chronická expozice často vede k anémii, k utlumení činnosti cytochromu a enzymu katalázy. Smrtelná dávka pro člověka je po požití 3 až 5 g. K zánětu ledvin a poškození srdečního svalu dochází po akutní otravě. Jsou pozorovány hepatotoxické, nefrotoxické a karcinogenní účinky. [10], [11], [42]

3.4 Původ rizikových kovů v odpadu

V komunálním a nebezpečném odpadu je v důsledku nestejnorodosti materiálu obsaženo i různé množství škodlivých látek, včetně rizikových kovů. K určení výskytu a pak i množství rizikových kovů je zapotřebí zkoumat původ a zdroj těchto kovů v odpadu.

Hliník je v odpadech velice rozšířen. Člověk se s ním setkává skoro denně, protože je používán při výrobě různých hliníkových nádob, hrnců, příborů, fólií na potraviny, plechovek a tub. Využívá se při výrobě mnoha slitin a při výrobě různých konstrukcí dopravních prostředků a staveb. Elektrický proud vede lépe než měď, proto je používán pro silnoprúdové vedení. [29], [31]

Thalium je v největším množství zastoupeno v elektronice. Používá se při výrobě polovodičů (tranzistorů, fotočlánků), při výrobě přípravků na hubení krys a hmyzu, při výrobě speciálních těžkých skel. Přidává se do lehkotavitelných slitin, jeho párami se plní některé výbojky. Slabé roztoky obsahující thalium můžou být použity k impregnaci dřeva a moření obilí. [36]

Olovo se již od starověku používalo při výrobě vodovodního potrubí, glazur, pigmentů a kosmetiky. Dalším velkým zdrojem olova v odpadu jsou olověné akumulátory. Používalo se při výrobě speciálních olověných skel. Někdy bývá malé množství olova obsaženo i v nátěrových směsích.

Arsen se využívá v prostředcích ke konzervaci dřeva proti houbám, dále ve farmaceutickém a sklářském průmyslu. Malé množství je použito pro veterinární účely, při konzervaci kůží při vyčiňování, v herbicidních prostředcích a ke konzervaci loveckých trofejí. Arzen je obsažen v pigmentech a využívá se také při výrobě slitin.

Měď se pro svou výbornou elektrickou vodivost používá zejména v elektrotechnice při výrobě kabelů, při výrobě kotlů a topných hadů a při výrobě velkého množství jiných součástek používaných v elektrických přístrojích. Uplatňuje se také v mincovnictví a při výrobě slitin (mosaz, bronz). Využívá se rovněž jako přísada do skla a přísada do konzervačních prostředků.

Kadmium bývá často využito při výrobě plechů zejména v automobilovém průmyslu. Používá se jako stabilizátor plastů a je nedílnou součástí některých pigmentů a barviv. Využívá se při výrobě slitin na bázi mědi a také při výrobě elektrod v alkalických akumulátorech. Kadmium bývá použito k ochraně proti rezivění (kadmiování).

Rtut' se v domácnostech často vyskytuje v teploměrech. Bývá součástí světelných výbojek, horských sluncí, materiálu elektrod, baterií a elektrických zařízení. Používá se při výrobě barviv, v zemědělství, v papírenském a farmaceutickém průmyslu. Využívá se rovněž při plombování zubů, při kterém je využita její slitina se stříbrem. [29], [31]

Mangan je hlavní součástí při výrobě oceli. Používá se také při výrobě slitin hliníku a bronzu. Mezi nejznámější slitiny patří feromangan, který se využívá k legování oceli, a dále velice lehká a odolná slitina – dural. Mangan bývá využíván ve sklářském, keramickém a chemickém průmyslu. Bývá přidáván do malířských barev a do barev při tisku tkanin. V potravinářském průmyslu bývá použit v desinfekčních prostředcích a dále také v pyrotechnickém průmyslu jako pohon raket. V zemědělství se používá k moření osiva. Sloučeniny manganu mohou ještě stále být obsaženy v některých galvanických článcích. [37]

Železo je jako nejdůležitější spotřební kov zároveň jednou z nejobsáhlejších složek odpadu. Používalo se a stále se používá k výrobě různých užitkových předmětů, bývá součástí mnoha slitin, které jsou posléze využity v mnoha odvětvích průmyslu. Se železem se setkáváme téměř na každém kroku. Železo je obsaženo v kolejnicích, v dopravních prostředcích, v mnoha druzích nástrojů a je také součástí konstrukce mnoha budov. [29], [31]

Nikl je často používán k ochraně proti rezivění (poniklování). Používá se k výrobě mincí a je nedílnou součástí některých slitin, zejména nerezové oceli. Nikl se tedy vyskytuje v jídelních nerezových přístrojích. Je součástí nabíjecích elektrických článků, které se v dnešní době používají hlavně v mobilních telefonech a v jiných elektrických zařízeních. [31], [38]

Chrómu se do odpadu nejvíce dostává z metalurgického průmyslu. Používá se při výrobě zrcadel, barvířských a tiskařských barev, pigmentů a při výrobě fotografií. Bývá rovněž využíván v chemickém průmyslu, v koželužnách a při impregnaci dřeva. Spolu s niklem se používá k ochraně proti rezivění (pochromování) a je rovněž součástí nerezové oceli. [29], [31]

Kobalt se do odpadu dostává především z metalurgického průmyslu. Používá se při výrobě ocelí, jiných slitin a magnetů. Používá se pro galvanické pokovování. V keramickém průmyslu se používá jako bělidlo. Používá se i k barvení skla. [39]

Antimon je uplatňován při výrobě slitin a kaučuku. Malé množství může být obsaženo v akumulátorech, pájkách a v polovodičích. Může být použit při výrobě elektroniky, tranzistorů, diod a také při výrobě CD disků. [41]

Vanad se přidává do kvalitních ocelí. Používá se při konstrukci letadel, sond a družic. Uplatňuje se při výrobě elektrických článků a baterií. Využívá se i jako významná složka v polovodičích. [40]

Zinek se používá jako antikorozi ochranný materiál. Bývá nanášen na plech, kovové ozdoby, okenní kliky, konve, vany, okapy a střechy. Používá se k výrobě galvanických článků a závaží pro vyvažování automobilových kol. V malé míře se používá při výrobě klenotnických slitin a také v nátěrových barvách. [42]

4 TOXICKÉ PRVKY A SPALOVÁNÍ ODPADŮ

4.1 Obecné poznatky

Různé toxické kovy se během spalovacího cyklu vážou na různé produkty spalování. Tyto produkty spalování jsou škvára, popílek, aktivní uhlí a plynná fáze. Spalováním se většinou bezproblémově odstraňují odpady organického původu. Toxické kovy se uvolňují hlavně z odpadů obsahujících nátěrové hmoty nebo samotných baterií. V některých případech může ovšem spalováním dojít k přeměně méně toxické formy kovu na formu mnohem toxické, jak je známo u chromu, který se může z formy trojmocné oxidovat na formu šestimocnou. [43]

Z dostupných literárních pramenů není zcela zřejmé, jak jsou toxické kovy ve spalovacích procesech distribuovány. Avšak pro správnou a optimální funkci zařízení na čištění spalin a následného dávkování potřebných médií k odstranění těžkých kovů ze spalin je nutné, aby znalost chování toxických kovů během spalování byla mnohem podrobnější. Důkladnější znalost by pomohla i ve věci dodržování emisních limitů pro toxické kovy stanovených nařízením vlády č. 354/2002 Sb. pro spalovny komunálních a nebezpečných odpadů. [24]

Je zřejmé, že některé rizikové kovy s vysokým bodem varu (Fe, Ni, Cu) projdou celým spalovacím procesem a fixují se až na popílek, kdežto kovy s nízkým bodem varu (Hg, Cd, Pb) snadno přecházejí do spalin. Velký vliv na odpařování toxických kovů nemá jen teplota, ale i obsah chloru ve spalované hmotě. Množství chloru vyšší než 0,1 % hmotnosti odpadu vede ke značnému zvýšení tvorby těkavých chloridů a tím i zvýšení emisí některých toxických kovů. [44], [45], [46]

Tendence fixace různých rizikových kovů je různá. Podle chování však můžeme rizikové kovy rozdělit na dvě skupiny:

- kovy s tendencí se koncentrovat spíše na malé částice popílku a plynnou fázi: As, Cd, Cu, Hg a Pb,
- kovy s tendencí koncentrovat se v popelu: Cr, Fe, Mn, Ni a Tl.

Pro životní prostředí jsou mnohem nebezpečnější emise kovů těkavějších (As, Cd, Cu, Hg a Pb). Mezi tyto těkavé složky můžeme zařadit i oxidy kovů (HgO , As_4O_6 , SeO_2 , SnO), dále chloridy kovů (HgCl_2 , PbCl_2 , PbCl_4 , CuCl , ZnCl_2 , TlCl) a také některé jejich karbonyly (Ni(CO)_4).

Podle teorie založené na termodynamické stabilitě kovů a jejich sloučenin a také na jejich schopnosti přecházet do plynné fáze, se kovy ze skupin s podobnou distribucí ve spalovací komoře a i za ní transformují na podobné sloučeniny ve stejném skupenství. Kovy s tendencí spíše se koncentrovat na popílek a plynnou fázi jsou distribuovány mechanismem, ve kterém se kovy a jejich sloučeniny nejprve vypařují a poté dochází k následné kondenzaci. Kdežto kovy s tendencí koncentrovat se v popelu jsou tvořeny sloučeninami v tuhém stavu, u kterých nedochází k uplatňování předchozího mechanismu, a tím zůstávají nadále fixovány v popelu. [46]

V dnešní době je využívána nová technologie spalování odpadů se směsí uhlí. Tato směs zaručuje navázání menšího množství rizikových kovů na tuhý zbytek spalování. V důsledku přítomnosti uhlí totiž dochází k vytvoření vyšší teploty při spalování, kovům se pak zvyšuje těkavost a schopnost vázat se více v popílku nebo v plynné fázi. Z důvodu vysoké těkavosti u rtuti se předpokládá, že se tento kov bude vázat pouze na popílek a plynnou fázi.

K zabránění distribuce rizikových kovů do životního prostředí slouží různé technologie solidifikace (cementace, vitrifikace), kterými jsou jednotlivé druhy produktů spalování zpracovávány. Za normálních teplot probíhá cementace, jejímž pojivem je cementová malta. Za teplot mnohem vyšších (1500 – 2000 °C) probíhá vitrifikace, jejímž pojivem jsou různé sklotvorné materiály. Vzniklé odpady po solidifikaci se využívají ve stavebnictví, například při stavbě silnic a dálnic. [47], [48], [49]

Některé zahraniční studie zabývající se osudem rizikových kovů během spalování tuhých odpadů poukazují na další skutečnost týkající se těkavosti jednotlivých kovů. Při studiu chování As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni a Pb během spalování v teplotním rozmezí od 676 °C do 1326 °C bylo zjištěno, že pouze chrom zůstává při těchto teplotách v pevném skupenství. Ostatní kovy tedy podléhají fyzikálním a chemickým přeměnám.

V další studii bylo poukázáno na vysokou účinnost magnetických elektroodlučovačů na některé kovy a jejich sloučeniny obsažené v popelu. Nejvýznamnější účinnost však tyto odlučovače mají na různé sloučeniny železa. [50], [51]

Mezi účinné metody k omezení emisí rizikových kovů jako Pb, Cd a Al v popílku patří proces chemického vyluhování formou kyselých praček a následné srážení neutralizací. Účinnost odstranění těchto kovů tímto procesem se pohybuje okolo 21 % pro kadmium, 99 % pro olovo a 100 % pro hliník.

Další účinnou metodou pro odstranění některých rizikových kovů z popílku je elektrochemická separační metoda založená na elektrodialytické úpravě. U této metody je využíván k separaci elektrický proud. Účinnost odstranění kovů může být až 86 % pro kadmium, 20 % pro olovo, 81 % pro měď a 44 % pro chrom. [52], [53]

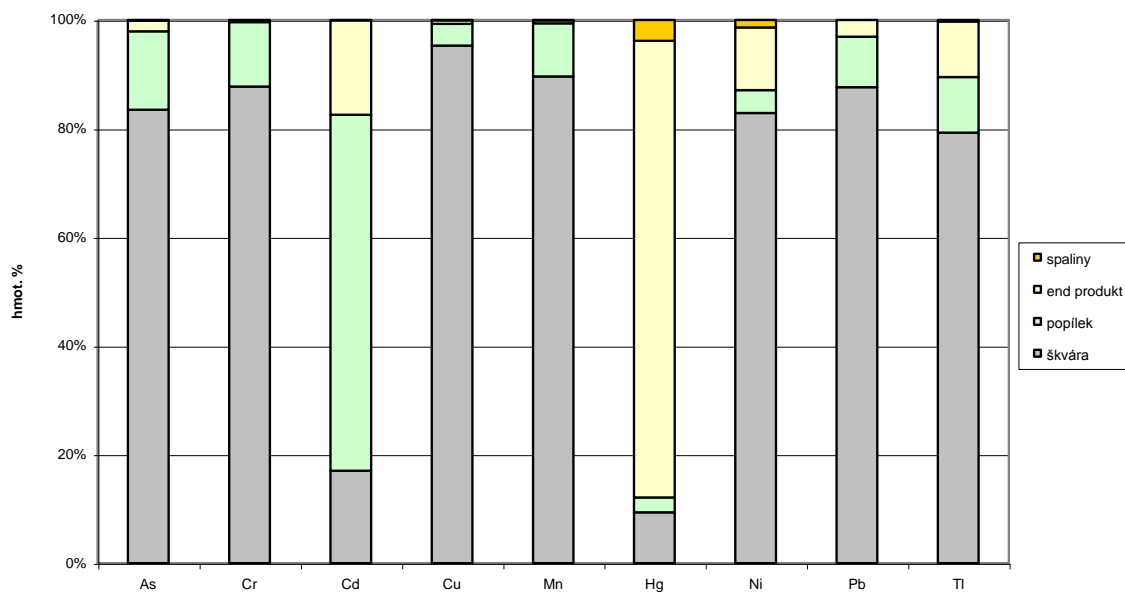
4.2 Pilotní projekt

Na Katedře ochrany životního prostředí byl v roce 2005 proveden pilotní pokusný experiment. Hlavním cílem tohoto experimentu bylo stanovení vybraných toxických kovů v jednotlivých produktech spalování komunálních odpadů.

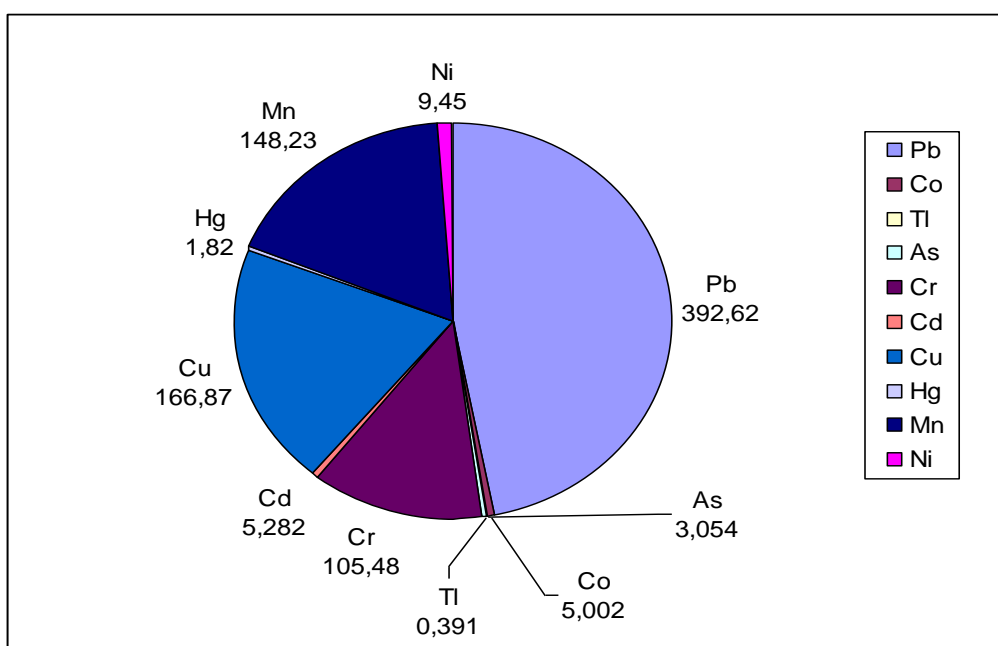
Nejprve byly provedeny odběry vzorků produktů spalování ve spalovně komunálních odpadů, u kterých se předpokládala přítomnost toxických kovů. Odebrané vzorky byly dopraveny do laboratoře, kde byly vysušeny a rozdrceny na požadovanou zrnitost a následně byla provedena rentgenová fluorescenční analýza.

Po dokončení všech analýz bylo zjištěno, že chování každého sledovaného kovu je při spalovacím procesu individuální, zároveň se každý kov váže k jinému produktu spalování a také v různém množství. Opět však bylo zjištěno, že ve velké míře závisí na teplotě spalování a také na množství rizikových kovů v odpadech vstupujících do procesu spalování.

Výsledky experimentu jsou názorně zobrazeny v grafu č. 1. Na základě znalosti množství spáleného odpadu, produktů z něj vzniklých a koncentrace jednotlivých rizikových kovů bylo možno vypočítat zastoupení jednotlivých kovů v 1 kg tuhého komunálního odpadu. Tato skutečnost je uvedena v grafu č. 2. [43]



Graf 1: Souhrnné zastoupení RK v jednotlivých produktech spalování odpadů [43]



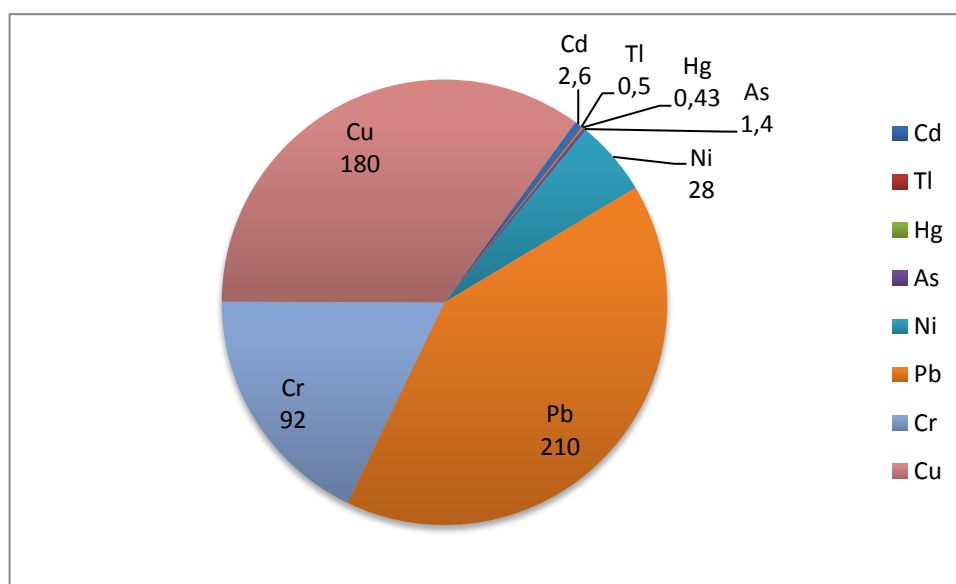
Graf 2: Zastoupení jednotlivých RK v komunálním odpadu (mg kovu/kg KO) [43]

4.3 Analýza paliva na bázi komunálního odpadu

Komunální odpad nemusí být vždy ve spalovnách komunálních odpadů spalován. Ve speciálních případech může být použito tzv. alternativní palivo (refuse derived fuel - RDF), které je speciálně pro spalování předpřipraveno, a které se složením velice podobá komunálnímu odpadu. Při analýze speciálního certifikovaného alternativního paliva byly vypočteny přibližné průměrné hodnoty obsahu některých rizikových kovů v jednom kilogramu spáleného odpadu. Tyto průměrné hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 3. Procentuální zastoupení rizikových kovů je pak uvedeno v grafu č. 3. [3]

Tabulka 3: Analýza alternativního paliva na bázi komunálního odpadu [3]

Kov	Cd	Tl	Hg	As	Ni	Pb	Cr	Cu
Hmotnost [mg/kg]	2,6	0,5	0,43	1,4	28	210	92	180



Graf 3: Zastoupení jednotlivých RK alternativního paliva na bázi KO [mg/kg]

5 ODBĚR, ÚPRAVA A ANALÝZA VZORKŮ PRODUKTŮ SPALOVÁNÍ ODPADŮ NA VYBRANÉ TOXICKÉ PRVKY VE SPOLUPRÁCI S VYBRANÝMI SPALOVNAMI ODPADŮ

5.1 Vybrané spalovny odpadů

V této kapitole jsou uvedeny některé základní informace, údaje a charakteristiky dvou českých spaloven, se kterými jsem spolupracoval z hlediska experimentální části mé diplomové práce. Obě spalovny mi poskytly v průběhu roku 2009 vzorky produktů spalování odpadů.

5.1.1 SAKO – Spalovna a komunální odpady Brno, a.s.

Vznik této spalovny je datován k 1. 7. 1994. Byla vybudována za účelem energetického využití směsného komunálního odpadu a také vybraných průmyslových odpadů. Hlavní cíl je tedy využití tepelné energie, která vzniká při spalování odpadů. Takto vzniklá energie pak slouží k výrobě páry.

Na konci roku 2009 došlo k rekonstrukci tří stávajících spalovenských kotlů včetně systému na čištění spalin. Byly instalovány dva moderní robustní kotle s posuvnými rošty. Tyto rošty zajišťují optimálnější provozní podmínky a lepší parametry procesu spalování odpadu. Instalace nových kotlů zvýšila kapacitu spalovny dvojnásobně, stejně se zvýšila i produkce páry. S rekonstrukcí je spojena i instalace turbíny na výrobu elektrické energie a dotřídovací linky. V současné době se jedná o nejrozsáhlejší modernizaci spalovny ve střední a východní Evropě.

Technologický proces spalovny je zajišťován podle schématu uvedeného v příloze č. 2. Součástí technologického procesu je samotné spalování, první a druhý stupeň čištění, objekt solidifikace a radiační ochrana. [59]

5.1.2 SPOVO, a.s. – Spalovna průmyslových odpadů Ostrava

Tato spalovna patří mezi nejmodernější zařízení svého druhu ve střední Evropě. Mimo průmyslových odpadů zajišťuje i bezpečné odstranění odpadů nebezpečných. Její kapacita je 2,3 t/h. Umožňuje spalování odpadů kapalných, kašovitých, pastovitých a pevných.

Celá technologie spalovny je řízena centrálním řídicím systémem. Odpady jsou spalovány v rotační peci. V procesu spalování je pro stabilizaci používán zemní plyn. Celý technologický proces zabezpečuje manipulaci a bezpečné zneškodňování škodlivin, zabezpečuje rovněž využití tepla uvolněného při spalování pro výrobu páry. Technologický proces je rozdělen na tyto hlavní části – příjem odpadů, spalovací část, parní kotel, čištění spalin (dvoustupňové mokré praní, dioxinový filtr, DENOx katalyzátor) a monitorovací systém. [60]

5.2 Odběr vzorků

Odběr vzorků byl proveden pověřenými pracovníky společnosti SAKO Brno a SPOVO Ostrava. V brněnské spalovně byly odběry provedeny v kalendářním roce 2009 celkem v osmi termínech a to: 2.2., 7.4., 8.4., 9.4., 18.6., 23.7., 27.8., 15.9.

Odběrná místa jsou zaznačena v příloze č. 2. Jednalo se o odběr škváry, popílku a end – produktu.

V ostravské spalovně byl odběr pouze jeden v termínu 17.10.2010. Odebírána byla škvára, popílek, aktivní uhlí, sádrovec a odpadní voda.

5.3 Úprava vzorků

Vzorky byly vysypány z igelitových pytlů a za pomoci kvartace vytvořeny reprezentativní vzorky jednotlivých produktů spalování.

V případě škváry bylo zapotřebí vzorek nejprve vysušit, protože obsahoval významné množství vody, která ve vzorku zůstala při ochlazování. Vysušení proběhlo v sušárně značky MEMMERT. Po vysušení jsem vzorek nejprve nechal pomlít v laboratorním vibračním mlýnku značky TESTCHEM – VDM a pak nechal prosít na vibračních sítích značky TESTCHEM – PRP. Fotodokumentace těchto přístrojů je uvedena v příloze č. 9

Všechny vzorky produktů spalování, které již měly požadovanou zrnitost, jsem odebral do připravených plastových lahvíček, které jsem fixem popsal symboly K1 až K29. Každý vzorek v lahvičce jsem zapsal do laboratorního deníku. Přesný popis jednotlivých vzorků K1 až K29 je uveden v tabulce č. 4.

Popsané lahvičky s reprezentativním vzorkem byly předány specializované chemické laboratoři v Centru nanotechnologií (VŠB - TUO) na chemickou analýzu.

Fotodokumentace popsaných lahvíček s reprezentativním vzorkem je uvedena v příloze č. 10.

5.4 Analýza vzorků

Vzorky byly analyzovány na obsah rizikových kovů, pro které jsou stanoveny emisní limity v nařízení vlády č. 354/2002 Sb. Jedná se o As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Sb, Tl a V. [24]

Podle protokolů o provedení zkoušek z chemické laboratoře, byly požadované analýzy provedeny metodou rentgenové fluorescenční spektrometrie (XRFS).

Metoda je založena na působení rentgenového záření na analyzovaný vzorek. RTG záření vyvolává excitaci – vyrazení elektronu z obalu atomu. V momentu uvolnění vnitřního elektronu přeskočí elektrony z vyšších slupek na jeho místo a uvolní přebytečnou energii ve formě fotonu. Takto uvolněná energie je charakteristická pro každý atom, proto vzniklé fluorescenční spektrum slouží k identifikaci atomu. Podle intenzity záření, která je úměrná koncentraci daného prvku, dokážeme určit kvantitativní analýzu. XRFS patří mezi nedestruktivní metodu, tudíž můžeme touto metodou zkoumat i povrch vzorků. [58]

Pro potřebu mé diplomové práce byl použit spektrometr firmy SPECTRO AI. Obchodní název tohoto přístroje je SPECTRO X – LAB. Tento přístroj je vybaven rentgenovou lampou o výkonu 2kW s vodním chlazením. Změnu napětí v rozsahu 1 – 60 kV v krocích po 1 kV a změnu proudu v rozsahu 1 – 80 mA v krocích 1 mA umožňuje generátor vysokého napětí. Tento spektrometr umožňuje optimální buzení RTG záření použitím sekundárních a polarizačních terčů. Využitím těchto terčů je umožněno optimální buzení určitých skupin prvků a dosaženo velmi nízkých detekčních limitů již od desetin mg/kg u některých prvků (Cd, As, Zn, CU, Ni). K detekci RTG záření se používá Si(Li) detektor s aktivní plochou 10 mm² s Be okénkem tloušťky 10 μm při rozlišení minimálně 150 eV na spektrální linii Mn-Kα. [43]

5.5 Výsledky analýz vzorků produktů spalování odpadů

V tabulce č. 4 je uvedeno označení jednotlivých vzorků, které byly připraveny pro chemickou analýzu v chemické laboratoři.

V tabulkách č. 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 a 17 jsou uvedeny výsledné hodnoty koncentrací vybraných rizikových kovů v jednotlivých produktech spalování odpadů ze spalovny SAKO Brno, které byly naměřeny v chemické laboratoři. Chemická analýza emisí nebyla náplní mé diplomové práce, proto jsem tyto hodnoty převzal z autorizovaného měření, které proběhlo ve dnech 7. – 9. dubna 2009. V tabulkách jsem tedy uvedl pouze průměrnou hodnotu emisí pro celý rok 2009. [56]

Výsledné hodnoty rizikových kovů pro spalovnu SPOVO Ostrava jsou uvedeny v tabulce č. 18. Všechny hodnoty koncentrací, kromě hodnot pro emise, byly použity podle výsledku chemického rozboru v chemické laboratoři. Hodnoty emisí byly použity z autorizovaného měření, přičemž výsledné emisní hodnoty jsou součtem hodnot koncentrací sledovaných prvků v pevné, kapalně a plynné fázi. [57]

Průměrné hodnoty jsou vypočítány pomocí vzorce pro aritmetický průměr:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

n...počet prvků

Tabulka 4: Označení vzorků produktů spalování odpadů pro analýzu

Označení vzorku	Produkt spalování	Datum odběru	Místo odběru
K1	škvára	2.2.2009	SAKO
K2	popílek	2.2.2009	SAKO
K3	end - produkt	2.2.2009	SAKO
K4	škvára	7.4.2009	SAKO
K5	škvára	8.4.2009	SAKO
K6	škvára	9.4.2009	SAKO
K7	end - produkt	7.4.2009	SAKO
K8	end - produkt	8.4.2009	SAKO
K9	end - produkt	9.4.2009	SAKO
K10	popílek	7.4.2009	SAKO
K11	popílek	8.4.2009	SAKO
K12	popílek	9.4.2009	SAKO
K13	škvára	18.6.2009	SAKO
K14	popílek	18.6.2009	SAKO
K15	end - produkt	18.6.2009	SAKO
K16	škvára	23.7.2009	SAKO
K17	popílek	23.7.2009	SAKO
K18	end - produkt	23.7.2009	SAKO
K19	škvára	27.8.2009	SAKO
K20	popílek	27.8.2009	SAKO
K21	end - produkt	27.8.2009	SAKO
K22	škvára	15.9.2009	SAKO
K23	popílek	15.9.2009	SAKO
K24	end - produkt	15.9.2009	SAKO
K25	škvára	17.10.2009	SPOVO
K26	aktivní uhlí (Spent sorbent)	17.10.2009	SPOVO
K27	popílek	17.10.2009	SPOVO
K28	sádrovec	17.10.2009	SPOVO
K29	odpadní voda z kyselých pračky	17.10.2009	SPOVO

Tabulka 5: Množství arsenu v jednotlivých produktech spalování

Prvek:	škvára	popílek	end - produkt	emise
Arsen				
Jednotka	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/m ³]
2.2.2009	15,8	0	0	
7.4.2009	0	15,37	0	
8.4.2009	11,7	15,7	0	
9.4.2009	0	15,1	0	
18.6.2009	0	0	0	
23.7.2009	15,3	0	0	
27.8.2009	11,9	0,7	0	
15.9.2009	14,5	0	0	
\bar{x}	8,65	5,86	0	0,0008

Tabulka 6: Množství kadmia v jednotlivých produktech spalování

Prvek:	škvára	popílek	end - produkt	emise
Kadmium				
Jednotka	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/m ³]
2.2.2009	4,5	250	43	
7.4.2009	3,1	172,61	31,65	
8.4.2009	3,4	164,9	31	
9.4.2009	4	167,9	40	
18.6.2009	7,7	248	62	
23.7.2009	3,9	250	46	
27.8.2009	15	8	49	
15.9.2009	10,8	260	63	
\bar{x}	6,55	190,18	45,71	0,0001

Tabulka 7: Množství kobaltu v jednotlivých produktech spalování

Prvek:	škvára	popílek	end - produkt	emise
Kobalt				
Jednotka	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/m ³]
2.2.2009	0	0	8,1	
7.4.2009	0	0	0	
8.4.2009	0	0	0	
9.4.2009	0	0	0	
18.6.2009	0	0	0	
23.7.2009	49	0	0	
27.8.2009	0	0	0	
15.9.2009	0	0	0	
\bar{x}	6,13	0	1,01	0,0001

Tabulka 8: Množství chromu v jednotlivých produktech spalování

Prvek:	škvára	popílek	end - produkt	emise
Chrom				
Jednotka	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/m ³]
2.2.2009	510	420	0	
7.4.2009	526,3	428,98	0	
8.4.2009	450,1	501,8	0	
9.4.2009	442,6	515,4	0	
18.6.2009	497	458	16,2	
23.7.2009	393	455	0	
27.8.2009	424	46,5	0	
15.9.2009	445	512	13,6	
\bar{x}	461	417,21	3,73	0,0015

Tabulka 9: Množství mědi v jednotlivých produktech spalování

Prvek:	škvára	popílek	end - produkt	emise
Měď				
Jednotka	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/m ³]
2.2.2009	940	500	81	
7.4.2009	676,9	361,2	40,01	
8.4.2009	541,8	348	35,2	
9.4.2009	707,2	242,5	50,2	
18.6.2009	1190	321	84	
23.7.2009	1079	418	60,6	
27.8.2009	1120	88,6	68,2	
15.9.2009	844	326	81	
\bar{x}	887,36	325,66	62,53	0,0083

Tabulka 10: Množství rtuti v jednotlivých produktech spalování

Prvek:	škvára	popílek	end - produkt	emise
Rtut'				
Jednotka	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/m ³]
2.2.2009	9,2	0	55	
7.4.2009	0	0	39,3	
8.4.2009	0	6,8	35,9	
9.4.2009	0	6,7	52,1	
18.6.2009	0	0	53	
23.7.2009	0	0	51	
27.8.2009	0	0	75	
15.9.2009	0	0	50	
\bar{x}	1,15	1,69	51,41	0,0228

Tabulka 11: Množství manganu v jednotlivých produktech spalování

Prvek:	škvára	popílek	end - produkt	emise
Mangan				
Jednotka	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/m ³]
2.2.2009	570	640	19	
7.4.2009	671,3	570,53	0	
8.4.2009	590,3	780,2	10,4	
9.4.2009	691,1	695	12,8	
18.6.2009	776	593	20,7	
23.7.2009	574	563	23,7	
27.8.2009	605	50,7	22,7	
15.9.2009	626	469	30,4	
\bar{x}	637,96	545,18	17,46	0,0147

Tabulka 12: Množství niklu v jednotlivých produktech spalování

Prvek:	škvára	popílek	end - produkt	emise
Nikl				
Jednotka	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/m ³]
2.2.2009	59	32,8	58	
7.4.2009	47,6	38,14	59,72	
8.4.2009	65,5	47,9	52,2	
9.4.2009	41,7	26,2	65,8	
18.6.2009	95	21,7	52	
23.7.2009	67	28,3	49	
27.8.2009	47,9	3,1	55,6	
15.9.2009	84,7	18,2	38,9	
\bar{x}	63,55	27,04	53,9	0,0008

Tabulka 13: Množství olova v jednotlivých produktech spalování

Prvek:	škvára	popílek	end - produkt	emise
Olovo				
Jednotka	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/m ³]
2.2.2009	470	2540	410	
7.4.2009	1030,7	2149,77	324,37	
8.4.2009	877	1520,2	298,6	
9.4.2009	1473,8	1202	407,9	
18.6.2009	1440	1960	637	
23.7.2009	592	2750	522	
27.8.2009	1120	99	529	
15.9.2009	796	2030	735	
\bar{x}	974,94	1781,37	482,98	0,0042

Tabulka 14: Množství antimonu v jednotlivých produktech spalování

Prvek:	škvára	popílek	end - produkt	emise
Antimon				
Jednotka	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/m ³]
2.2.2009	120	1020	110	
7.4.2009	71,1	563,86	64,64	
8.4.2009	315,1	477,5	51,9	
9.4.2009	50,8	479,8	74,9	
18.6.2009	94	909	198	
23.7.2009	51	870	130	
27.8.2009	69	29	127	
15.9.2009	91	810	153	
\bar{x}	107,75	644,9	113,68	0,0002

Tabulka 15: Množství thalia v jednotlivých produktech spalování

Prvek:	škvára	popílek	end - produkt	emise
Thalium				
Jednotka	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/m ³]
2.2.2009	1,4	0	5	
7.4.2009	0	0	2,78	
8.4.2009	0	2	1,6	
9.4.2009	0	0	2,8	
18.6.2009	0	0	2,1	
23.7.2009	0	0	2,5	
27.8.2009	0	0	2,3	
15.9.2009	0	0	1,4	
\bar{x}	0,18	0,25	2,56	0,000007

Tabulka 16: Množství vanadu v jednotlivých produktech spalování

Prvek:	škvára	popílek	end - produkt	emise
Vanad				
Jednotka	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/m ³]
2.2.2009	42	270	79	
7.4.2009	51,4	0	117,51	
8.4.2009	61,5	0	83,8	
9.4.2009	53,9	0	133,8	
18.6.2009	0	0	109	
23.7.2009	0	0	98	
27.8.2009	51,2	7	112	
15.9.2009	0	0	71,7	
\bar{x}	32,5	34,63	100,6	0,0009

Tabulka 17: Množství zinku v jednotlivých produktech spalování

Prvek:	škvára	popílek	end - produkt	emise
Zinek				
Jednotka	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/m ³]
2.2.2009	1810	9400	1640	
7.4.2009	2846,3	7475,2	1406,71	
8.4.2009	2774,7	7061,3	1367,3	
9.4.2009	1869,5	6851,8	1660	
18.6.2009	3060	9527	2720	
23.7.2009	6230	10290	2298	
27.8.2009	1929	56,9	2313	
15.9.2009	2560	10640	3250	
\bar{x}	2884,94	7662,78	2081,88	0,0361

Tabulka 18: Množství rizikových kovů v produktech spalování (SPOVO)

Datum:	škvára	popílek	emise	aktivní uhlí	sádrovec	odpadní voda
17.10.2009						
Jednotka	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/m ³]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/l]
Arsen	0	94,3	0,0001	39,9	0,7	4,18
Kadmium	36	290	0,0015	172	3,2	4,38
Kobalt	39	0	0	0	0	0,086
Chrom	3620	163	0,0132	19,8	8	0,34
Měď	2570	5120	0,0381	750	292	14,6
Rtut'	3,9	33	0,0013	5200	0	33,3
Mangan	2320	558	0,0121	138	22	10,1
Nikl	238	91	0,0032	23,4	3	0,28
Olovo	113	13900	0,0804	2350	180	30,2
Antimon	7,3	270	0,0009	132	0	2,13
Thalium	0	49	0,0010	42	1,2	0,051
Vanad	0	1	0,0013	0	0	0,48

6 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ ANALÝZ

6.1 Množství spáleného odpadu

V následující tabulce č. 19 je uvedeno přesné množství spáleného odpadu a dále množství produktů vzniklých po jeho spálení v roce 2009.

Množství spáleného odpadu a produktů z něho vzniklých ve spalovně SPOVO Ostrava je uvedeno v tabulce č. 20.

Jelikož v neupravených vzorcích škváry bylo obsaženo velké množství chladicí vody, musely být vzorky vysušeny, a proto uvedené hodnoty škváry jsou přepočítány na množství suché škváry.

Gravimetrickou analýzou byl stanoven obsah vody ve vzorcích škváry. Pro vzorky škváry ze spalovny SAKO Brno byla vypočítána průměrná hodnota 24,53 hmotnostních procent a pro vzorek škváry ze spalovny SPOVO Ostrava 3,44 hmotnostních procent. Výsledné množství suché škváry bylo vypočítáno odečtením obsahu vody z celkového množství vzniklé škváry po spálení odpadu. V následujících tabulkách a při výpočtech je pak dále uvažováno vždy se škvárou v bezvodém stavu.

Tabulka 19: Množství navezených odpadů a produktů z nich vzniklých (SAKO) [55]

Rok: 2009	množství spáleného odpadu	škvára	popílek	end - produkt
jednotka	[t]	[t]	[t]	[t]
celkem	54602	11025	773	1669

Tabulka 20: Množství navezených odpadů a produktů z nich vzniklých (SPOVO)

Rok: 2009	množství spáleného odpadu	škvára	popílek	aktivní uhlí	sádrovec	odpadní voda
jednotka	[t]	[t]	[t]	[t]	[t]	[t]
celkem	16823	2574,4	376	3,716	131	20347

6.1.1 Hmotnostní podíly výstupů ze spalovacího procesu (SAKO):

$$\text{Škvára: } w_s = \frac{x_s}{x_n} = \frac{11025}{54602} = \underline{0,202}$$

$$\text{Popílek: } w_p = \frac{x_p}{x_n} = \frac{773}{54602} = \underline{0,014}$$

$$\text{End – produkt: } w_e = \frac{x_e}{x_n} = \frac{1669}{54602} = \underline{0,031}$$

w_s ...hmotnostní zlomek škváry

w_p ...hmotnostní zlomek popílku

w_e ...hmotnostní zlomek end - produktu

x_n ...celkové množství návozu

x_s ...celkové množství škváry

x_p ...celkové množství popílku

x_e ...celkové množství end – produktu

6.1.2 Přepočet spalin (SAKO):

Pro výpočet objemu spalin vznikajícího z 1 kg odpadu je zapotřebí znát objemový průtok spalin, provozní hodiny a také celkové množství spáleného odpadu. Tyto hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 21.

Tabulka 21: Objem spalin a provozní hodiny za rok 2009 (SAKO)

Spalovna:	Objemový průtok spalin	Provozní hodiny	Množství spáleného odpadu
SAKO			
Jednotka	[m ³ /h]	[hod]	[kg]
Celkem	62682	5616	54602000

$$V_{sp} = \frac{x_{sp} \cdot x_{ph}}{x_n} = \frac{62682 \cdot 5616}{54602000} = \underline{6,45 \text{ m}^3/\text{kg}}$$

V_{sp} ...objem spalin vniklých z 1 kg odpadu

x_{sp} ...objemový průtok spalin

x_{ph} ...provozní hodiny

x_n ...celkové množství spáleného odpadu

6.1.3 Hmotnostní podíly výstupů ze spalovacího procesu (SPOVO):

$$\text{Škvára: } w_s = \frac{x_s}{x_n} = \frac{2574,4}{16823} = \underline{0,153}$$

$$\text{Popílek: } w_p = \frac{x_p}{x_n} = \frac{376}{16823} = \underline{0,022}$$

$$\text{Aktivní uhlí: } w_a = \frac{x_a}{x_n} = \frac{3,716}{16823} = \underline{0,0002}$$

$$\text{Sádrovec: } w_s = \frac{x_s}{x_n} = \frac{131}{16823} = \underline{0,008}$$

$$\text{Odpadní voda: } w_o = \frac{x_o}{x_n} = \frac{20347}{16823} = \underline{1,210}$$

w_s ...hmotnostní zlomek škváry

w_p ...hmotnostní zlomek popílku

w_a ...hmotnostní zlomek aktivního uhlí

w_s ...hmotnostní zlomek sádrovce

w_o ...hmotnostní zlomek odpadní vody

x_n ...celkové množství spáleného odpadu

x_s ...celkové množství škváry

x_p ...celkové množství popílku

x_a ...celkové množství aktivního uhlí

x_s ...celkové množství sádrovce

x_o ...celkové množství odpadní vody

6.1.4 Přepočet spalin (SPOVO):

Naměřené hodnoty objemového průtoku spalin, množství provozních hodin a množství spáleného odpadu pro spalovnu SPOVO Ostrava jsou uvedeny v tabulce č. 22.

Tabulka 22: Objem spalin a provozní hodiny za rok 2009 (SPOVO)

Spalovna:	Objemový průtok spalin	Provozní hodiny	Množství spáleného odpadu
SPOVO			
Jednotka	[m ³ /h]	[hod]	[kg]
Celkem	12637	7747	16823000

$$V_{sp} = \frac{x_{sp} \cdot x_{ph}}{x_n} = \frac{12637 \cdot 7747}{16823000} = \underline{5,82 \text{ m}^3/\text{kg}}$$

V_{sp} ...objem spalin vniklých z 1 kg odpadu

x_{sp} ...objemový průtok spalin

x_{ph} ...provozní hodiny

x_n ...celkové množství spáleného odpadu

6.2 Zastoupení rizikových kovů v produktech spalování

Průměrné hodnoty koncentrací jednotlivých rizikových kovů v produktech spalování pro spalovnu SAKO Brno jsou uvedeny v tabulce č. 23 a pro spalovnu SPOVO Ostrava v tabulce č. 24.

Tabulka 23: Zastoupení rizikových kovů v produktech spalování (SAKO)

Spalovna:	škvára	popílek	end - produkt	emise
SAKO				
Jednotka	\bar{x} [mg/kg]	\bar{x} [mg/kg]	\bar{x} [mg/kg]	\bar{x} [mg/m ³]
Arsen	8,65	5,86	0	0,0008
Kadmium	6,55	190,18	45,71	0,0001
Kobalt	6,13	0	1,01	0,0001
Chrom	461	417,21	3,73	0,0015
Měď	887,36	325,66	62,53	0,0083
Rtuť	1,15	1,69	51,41	0,0228
Mangan	637,96	545,18	17,46	0,0147
Nikl	63,55	27,04	53,9	0,0008
Olovo	974,94	1781,37	482,98	0,0042
Antimon	107,75	644,9	113,68	0,0002
Thalium	0,18	0,25	2,56	0,000007
Vanad	32,5	34,63	100,6	0,0009
Zinek	2884,94	7662,78	2081,88	0,0361

Tabulka 24: Zastoupení rizikových kovů v produktech spalování (SPOVO)

Spalovna SPOVO	škvára	popílek	emise	aktivní uhlí	sádrovec	odpadní voda
Jednotka	\bar{x} [mg/kg]	\bar{x} [mg/kg]	\bar{x} [mg/m ³]	\bar{x} [mg/kg]	\bar{x} [mg/kg]	\bar{x} [mg/l]
Arsen	0	94,3	0,0001	39,9	0,7	4,18
Kadmium	36	290	0,0015	172	3,2	4,38
Kobalt	39	0	0	0	0	0,086
Chrom	3620	163	0,0132	19,8	8	0,34
Měď	2570	5120	0,0381	750	292	14,6
Rtuť	3,9	33	0,0013	5200	0	33,3
Mangan	2320	558	0,0121	138	22	10,1
Nikl	238	91	0,0032	23,4	3	0,28
Olovo	113	13900	0,0804	2350	180	30,2
Antimon	7,3	270	0,0009	132	0	2,13
Thalium	0	49	0,0010	42	1,2	0,051
Vanad	0	1	0,0013	0	0	0,48

6.3 Distribuce rizikových kovů spálením 1kg odpadu

Abychom zřetelněji poznali, jak se jednotlivé kovy distribuují při procesu spalování odpadů, je potřeba, kromě uvedení koncentrací jednotlivých kovů v produktech spalování, uvažovat o množství těchto produktů vzniklých při spálení určitého množství odpadu. Takto přesněji a názorněji zjistíme toky těchto kovů například při spálení 1 kg odpadu.

6.3.1 Výpočet množství RK v produktech po spálení 1 kg SKO (SAKO)

Výpočet množství pro jednotlivé rizikové kovy probíhá podle vzorce:

Pro škváru: množství RK ve škváře $\cdot w_s$

Pro popílek: množství RK v popílku $\cdot w_p$

Pro end – produkt: množství RK v end – produktu $\cdot w_e$

Pro spaliny: množství RK ve spalinách $\cdot V_{sp}$

Ukázkový výpočet (například pro zinek - SAKO):

Pro škváru: množství Zn ve škváře $\cdot w_s = 2884,94 \cdot 0,202 = \underline{582,758 \text{ mg}}$

Pro popílek: množství Zn v popílku $\cdot w_p = 7662,78 \cdot 0,014 = \underline{107,279 \text{ mg}}$

Pro end–produkt: množství Zn v end–produktu $\cdot w_e = 2081,88 \cdot 0,031 = \underline{64,538 \text{ mg}}$

Pro spaliny: množství Zn ve spalinách $\cdot V_{sp} = 0,0361 \cdot 6,45 = \underline{0,233 \text{ mg}}$

Vypočtené výsledky množství rizikových kovů v jednotlivých produktech spalování vzniklé při spálení 1kg SKO pro spalovnu SAKO Brno jsou uvedeny v tabulce č. 25.

Tabulka 25: Množství RK v produktech po spálení 1 kg SKO (SAKO)

Spalovna: SAKO	škvára	popílek	end - produkt	emise
Jednotka	[mg]	[mg]	[mg]	[mg]
Arsen	1,747	0,082	0	0,005
Kadmium	1,323	2,663	1,417	0,001
Kobalt	1,238	0	0,031	0,001
Chrom	93,122	5,841	0,116	0,010
Měď	179,247	4,559	1,938	0,054
Rtuť	0,232	0,024	1,594	0,147
Mangan	128,868	7,633	0,541	0,095
Nikl	12,837	0,379	1,671	0,005
Olovo	196,938	24,939	14,972	0,027
Antimon	21,766	9,029	3,524	0,001
Thalium	0,036	0,004	0,079	0
Vanad	6,565	0,485	3,119	0,006
Zinek	582,758	107,279	64,538	0,233

6.3.2 Výpočet množství RK v produktech po spálení 1 kg odpadu (SPOVO)

Ukázkový výpočet je uvedený v předchozí kapitole 6.3.1.

Vypočtené výsledky množství rizikových kovů v jednotlivých produktech spalování vzniklé při spálení 1kg odpadu pro spalovnu SPOVO Ostrava jsou uvedeny v tabulce č. 26.

Tabulka 26: Množství RK v produktech po spálení 1 kg odpadu (SPOVO)

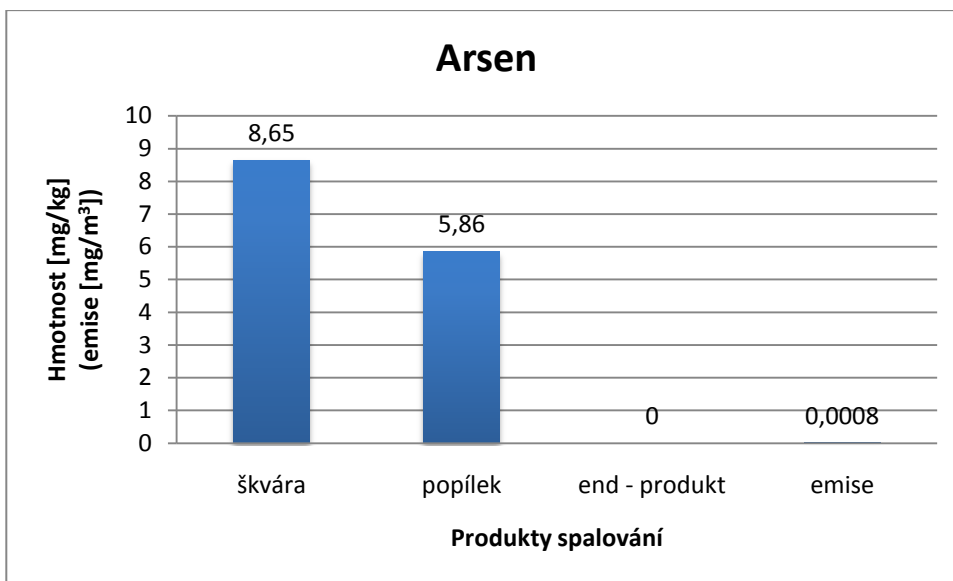
Spalovna:	škvara	popílek	emise	aktivní uhlí	sádrovec	odpadní voda
SPOVO						
Jednotka	[mg]	[mg]	[mg]	[mg]	[mg]	[mg]
Arsen	0	2,075	0,001	0,008	0,006	5,058
Kadmium	5,508	6,380	0,009	0,034	0,026	5,300
Kobalt	5,967	0,000	0	0	0,000	0,104
Chrom	553,860	3,586	0,077	0,004	0,064	0,411
Měď	393,210	112,640	0,222	0,150	2,336	17,666
Rtuť	0,597	0,726	0,008	1,040	0	40,293
Mangan	354,960	12,276	0,070	0,028	0,176	12,221
Nikl	36,414	2,002	0,019	0,005	0,024	0,339
Olovo	17,289	305,800	0,468	0,470	1,440	36,542
Antimon	1,117	5,940	0,005	0,026	0	2,577
Thalium	0	1,078	0,006	0,008	0,010	0,062
Vanad	0	0,022	0,008	0	0	0,581

6.4 Grafické znázornění výsledků analýz a výsledků stanovených výpočtem

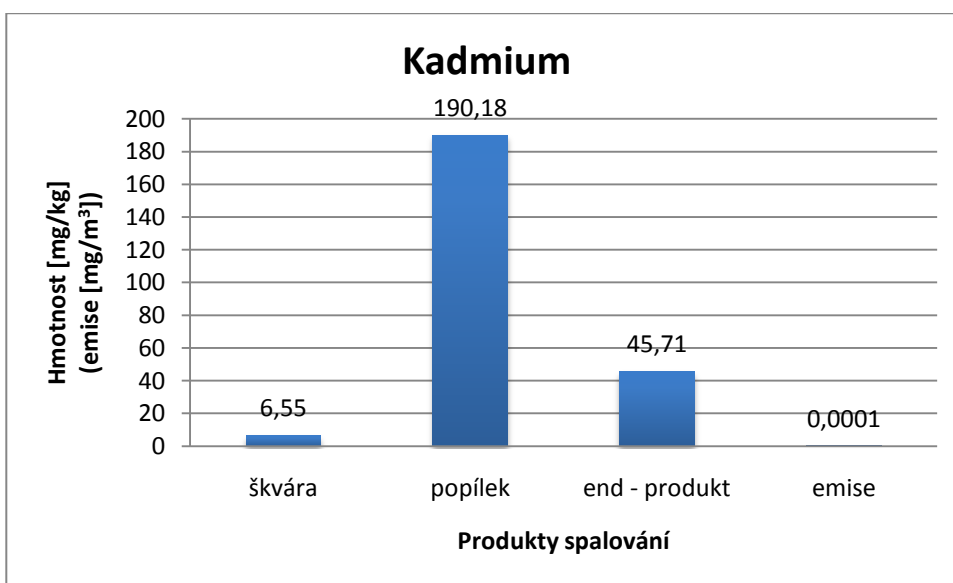
Tato kapitola je věnována grafické interpretaci důležitých výsledků analýz a výsledků stanovených pomocí výpočtu. Jednotlivé grafy jsou rozděleny do podkapitol a také barevně podle jednotlivých spaloven.

6.4.1 Zastoupení rizikových kovů v produktech spalování odpadů (SAKO)

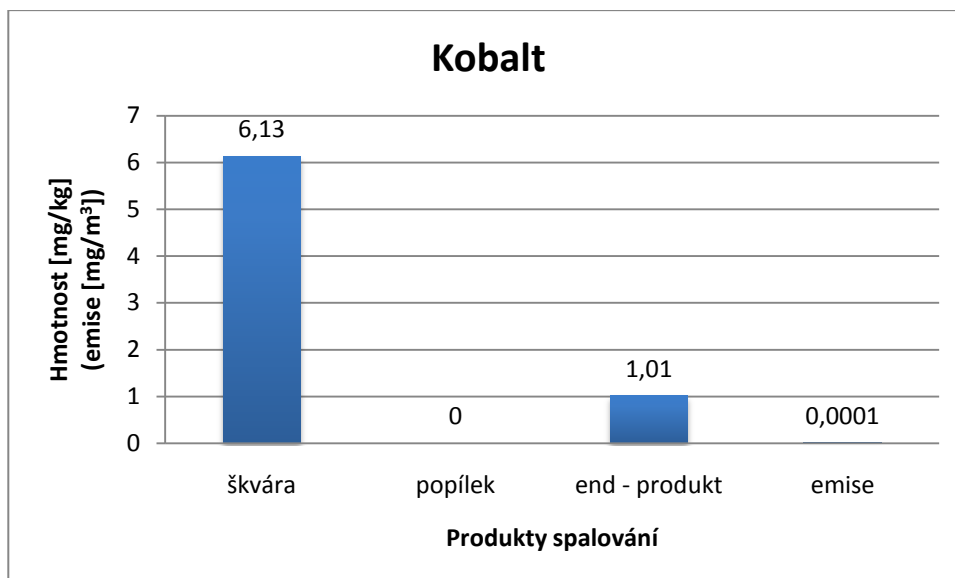
V následujících grafech č. 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 a 16 je graficky znázorněno množství jednotlivých vybraných rizikových kovů, které se nachází v produktech spalování odpadů (škvara, popílek, end – produkt a emise).



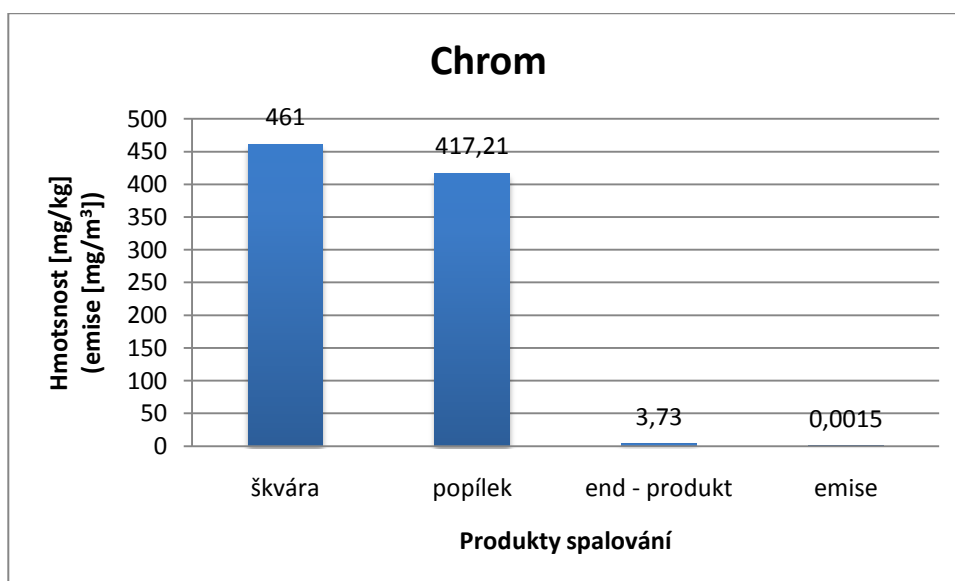
Graf 4: Zastoupení arsenu v jednotlivých produktech spalování odpadů (SAKO)



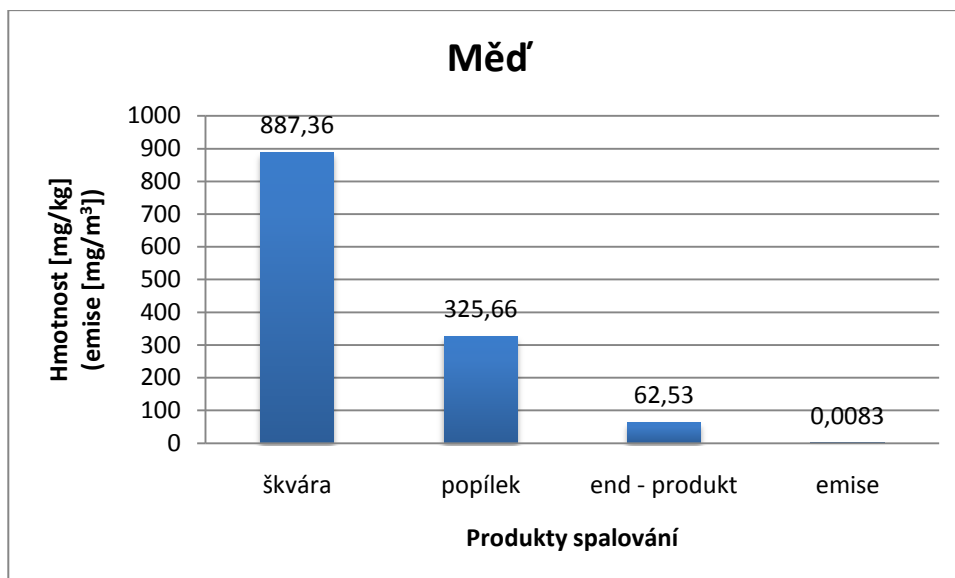
Graf 5: Zastoupení kadmia v jednotlivých produktech spalování odpadů (SAKO)



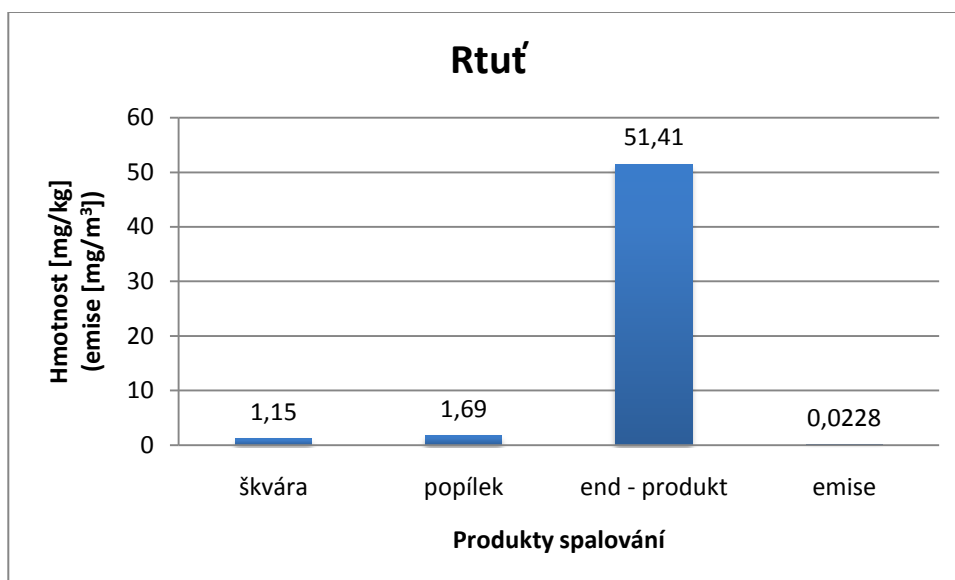
Graf 6: Zastoupení kobaltu v jednotlivých produktech spalování odpadů (SAKO)



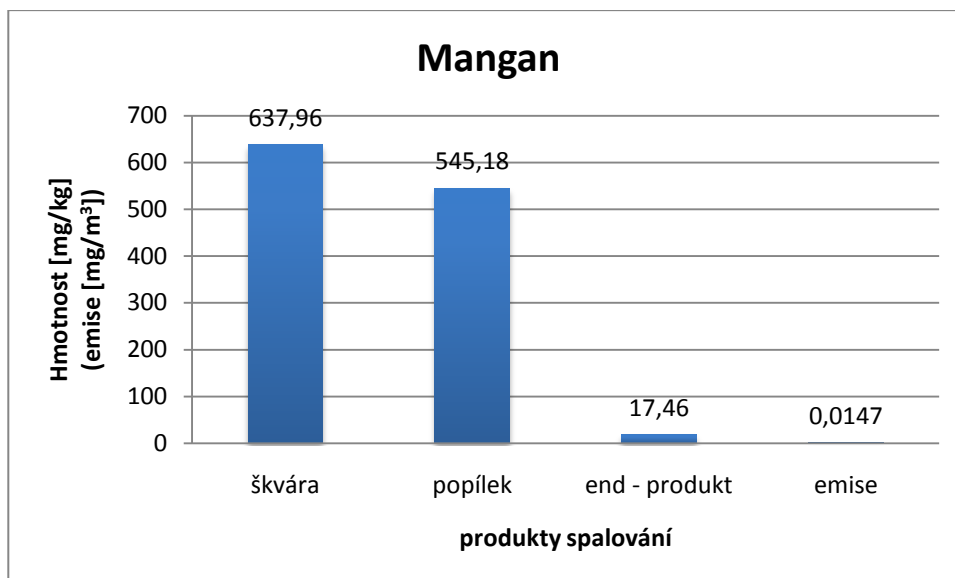
Graf 7: Zastoupení chromu v jednotlivých produktech spalování odpadů (SAKO)



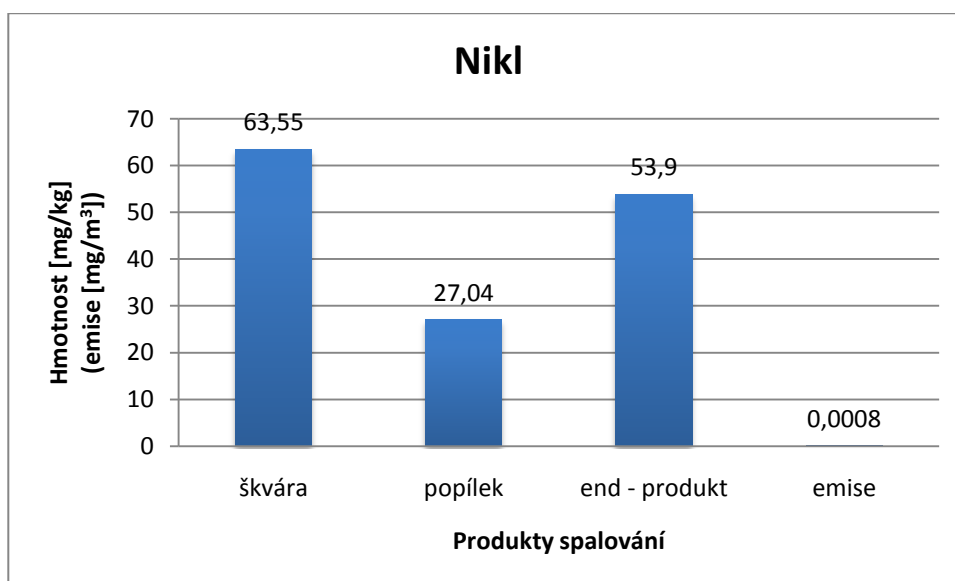
Graf 8: Zastoupení mědi v jednotlivých produktech spalování odpadů (SAKO)



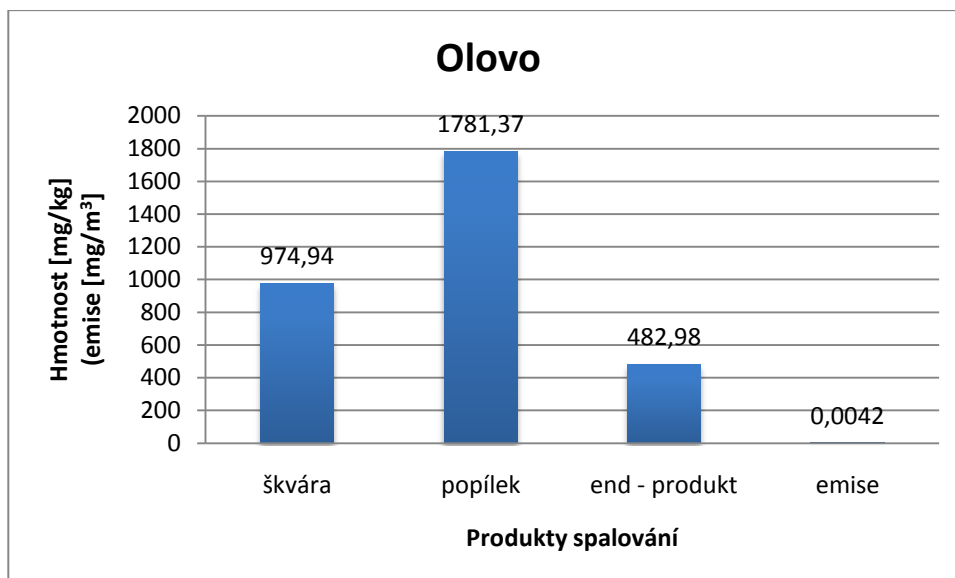
Graf 9: Zastoupení rtuti v jednotlivých produktech spalování odpadů (SAKO)



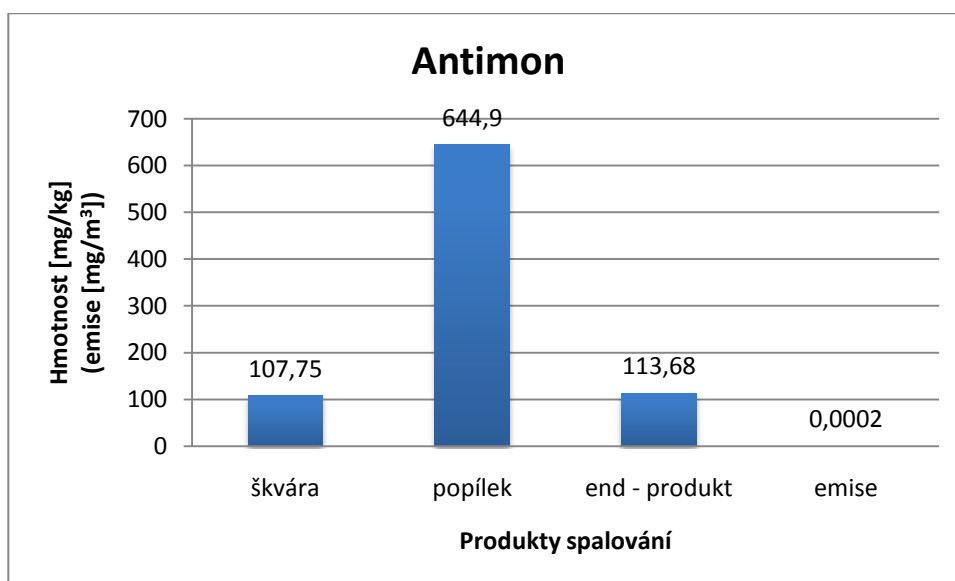
Graf 10: Zastoupení manganu v jednotlivých produktech spalování odpadů (SAKO)



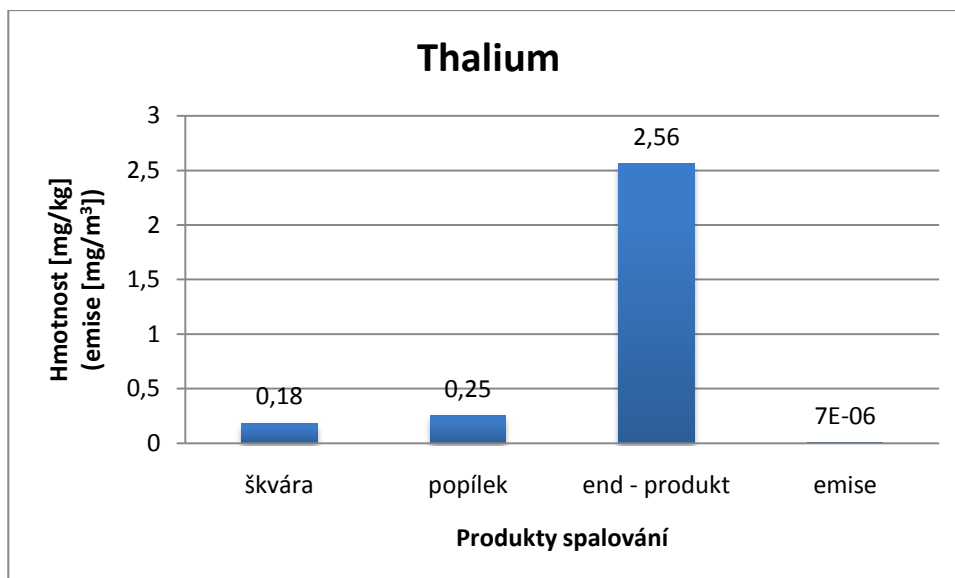
Graf 11: Zastoupení niklu v jednotlivých produktech spalování odpadů (SAKO)



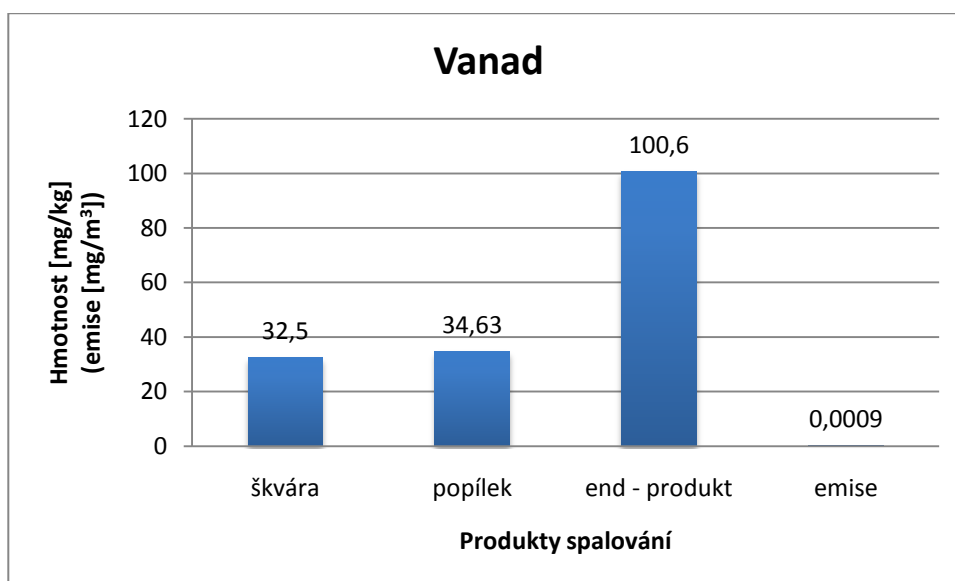
Graf 12: Zastoupení olova v jednotlivých produktech spalování odpadů (SAKO)



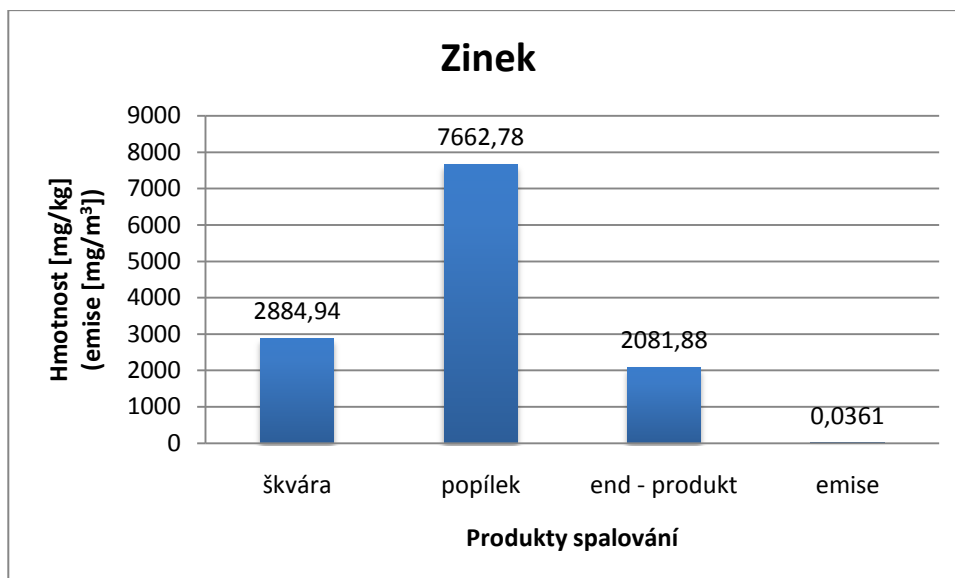
Graf 13: Zastoupení antimonu v jednotlivých produktech spalování odpadů (SAKO)



Graf 14: Zastoupení thalia v jednotlivých produktech spalování odpadů (SAKO)



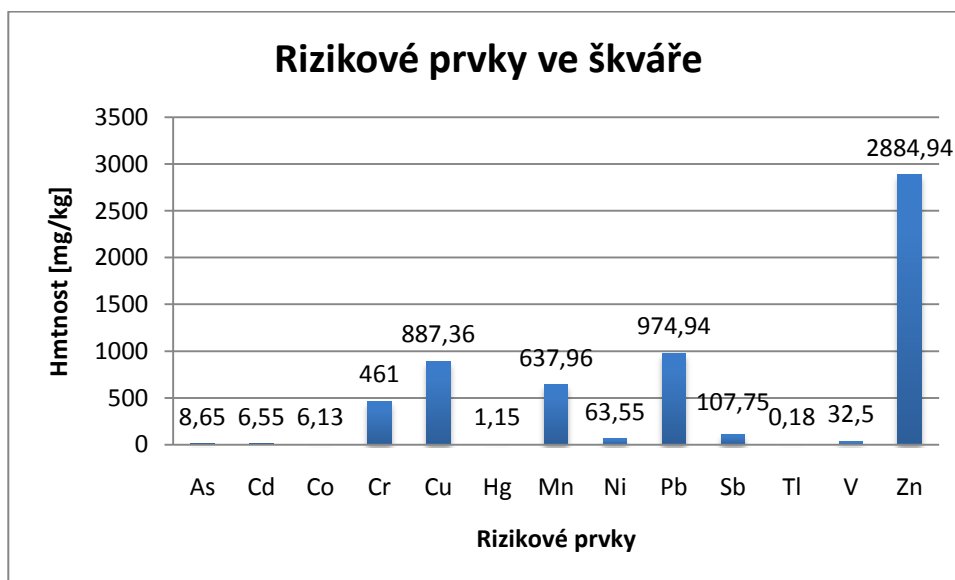
Graf 15: Zastoupení vanadu v jednotlivých produktech spalování odpadů (SAKO)



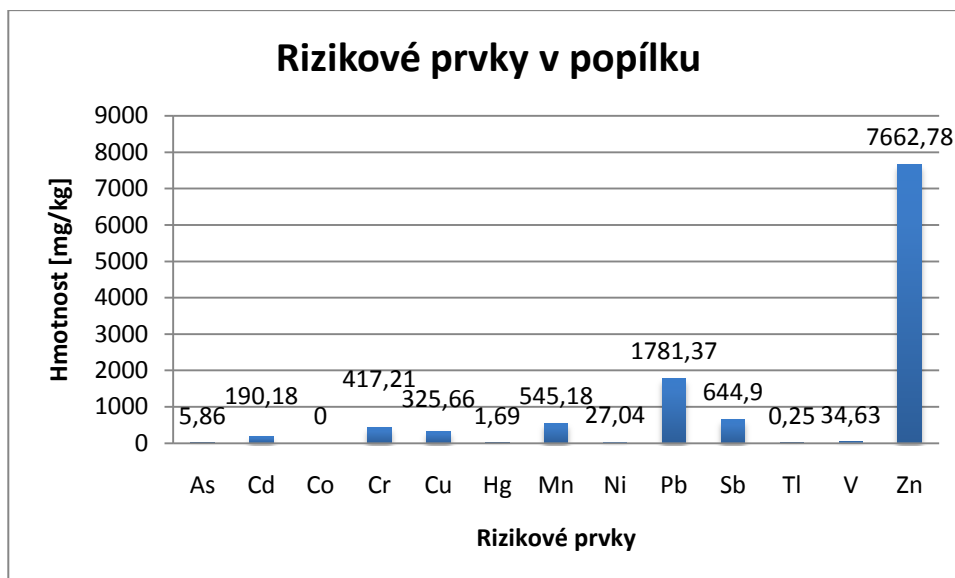
Graf 16: Zastoupení zinku v jednotlivých produktech spalování odpadů (SAKO)

6.4.2 Vyhodnocení produktů spalování odpadů (SAKO)

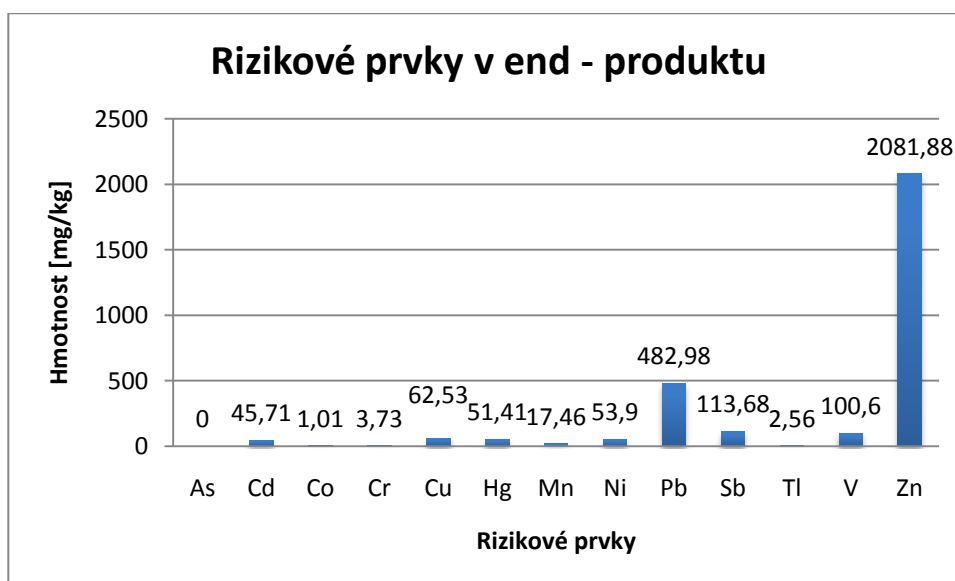
V následujících grafech č. 17, 18, 19 a 20 je znázorněno zastoupení všech vybraných rizikových prvků ve škváře, v popílku, end – produktu a emisích.



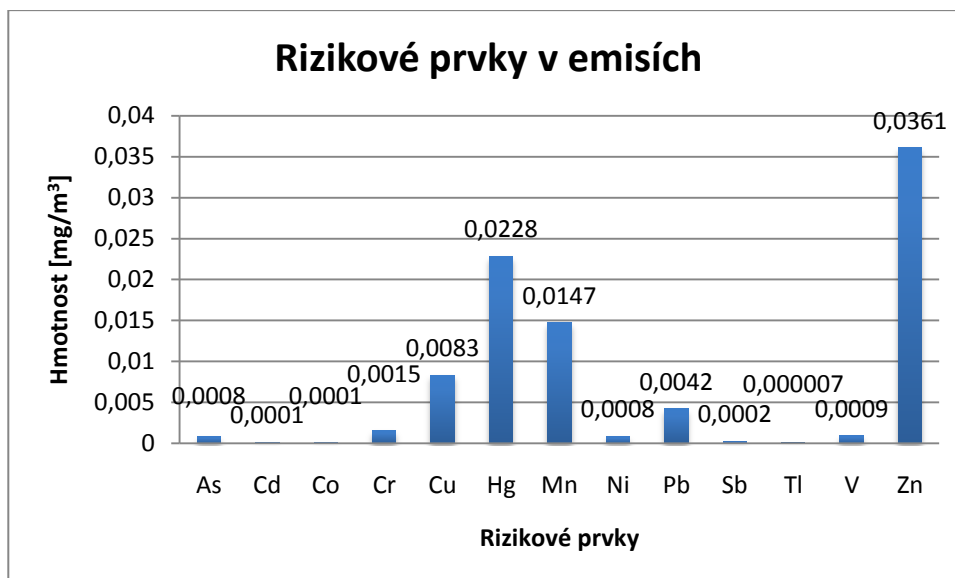
Graf 17: Zastoupení rizikových prvků ve škváře



Graf 18: Zastoupení rizikových prvků v popílku



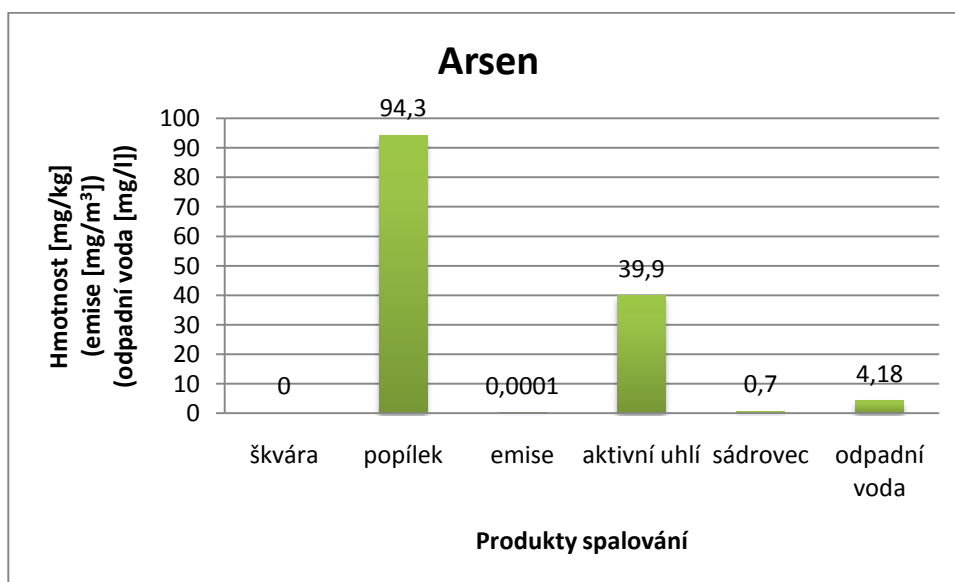
Graf 19: Zastoupení rizikových prvků v end - produktu



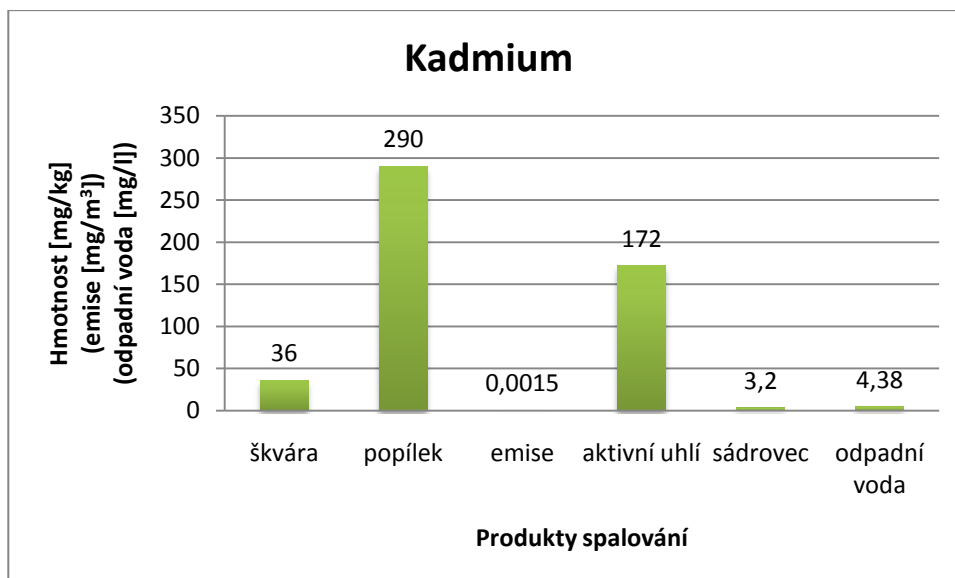
Graf 20: Zastoupení rizikových prvků v emisích

6.4.3 Zastoupení rizikových kovů v produktech spalování odpadů (SPOVO)

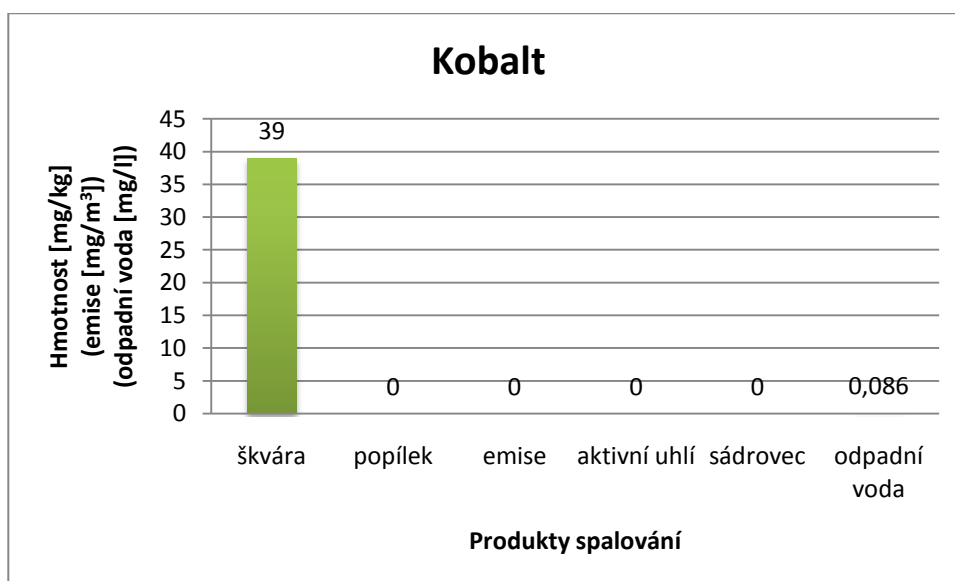
V grafech č. 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31 a 32 je graficky znázorněno množství jednotlivých vybraných rizikových kovů, které se nachází v produktech spalování odpadů (škvára, popílek, aktivní uhlí, odpadní voda, sádrovec a emise).



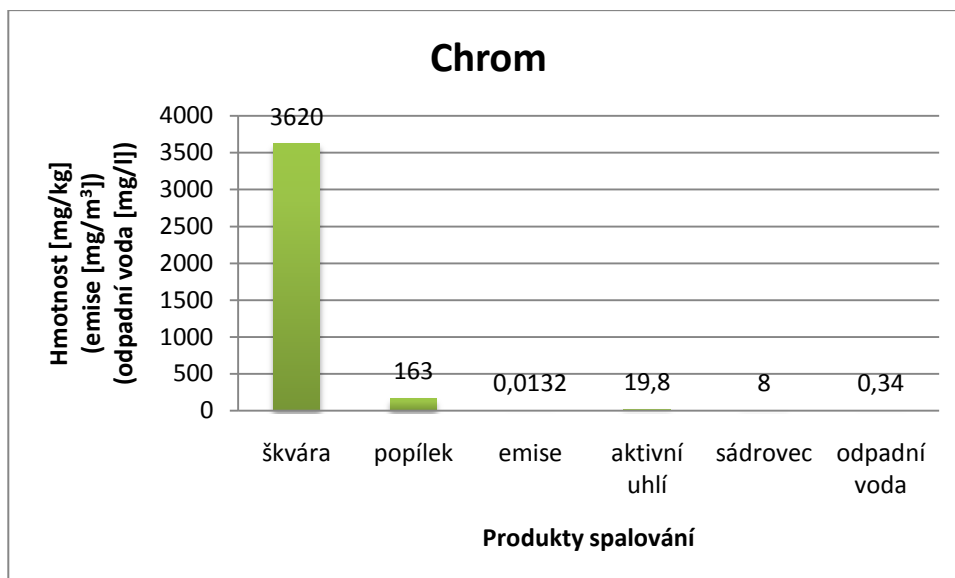
Graf 21: Zastoupení arsenu v jednotlivých produktech spalování odpadů



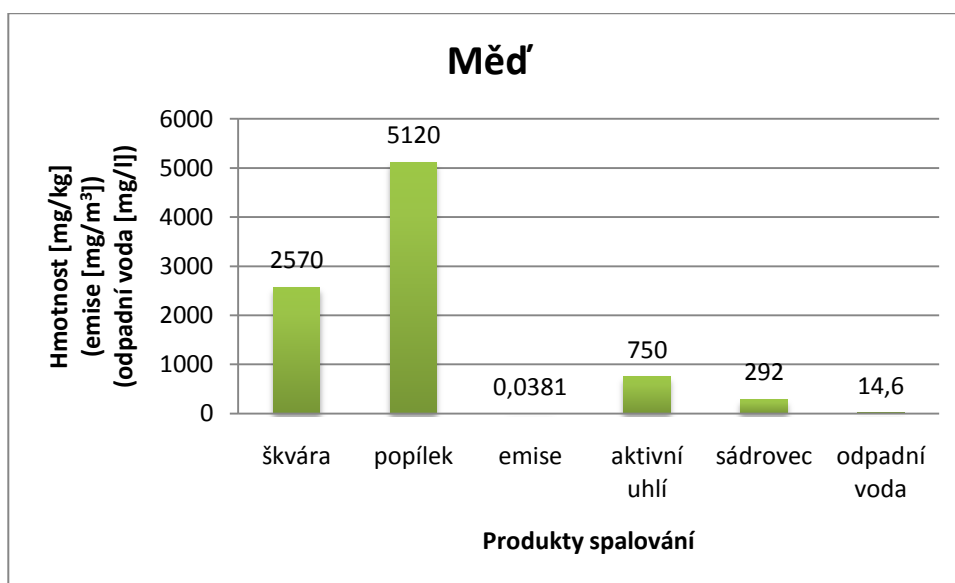
Graf 22: Zastoupení kadmia v jednotlivých produktech spalování odpadů (SPOVO)



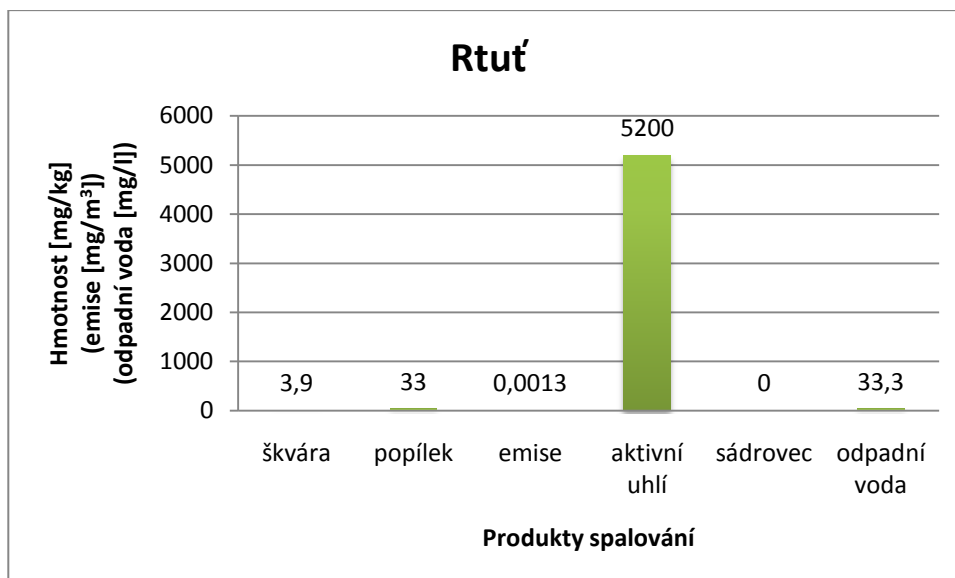
Graf 23: Zastoupení kobaltu v jednotlivých produktech spalování odpadů (SPOVO)



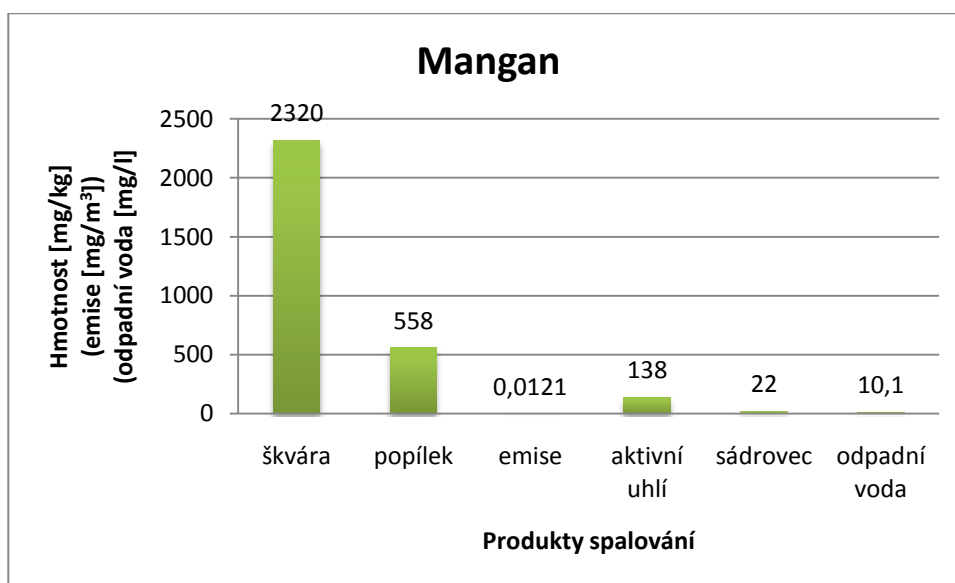
Graf 24: Zastoupení chromu v jednotlivých produktech spalování odpadů (SPOVO)



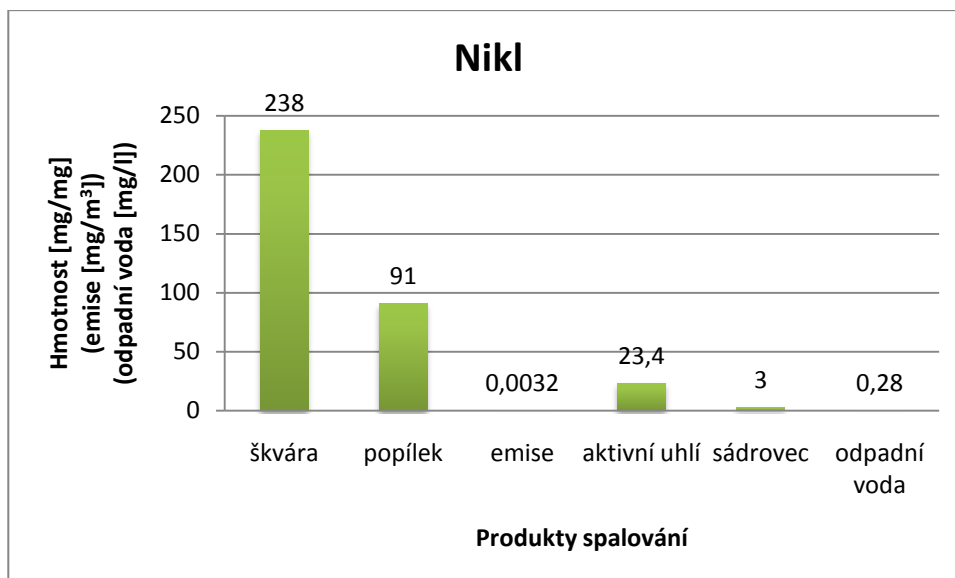
Graf 25: Zastoupení mědi v jednotlivých produktech spalování odpadů (SPOVO)



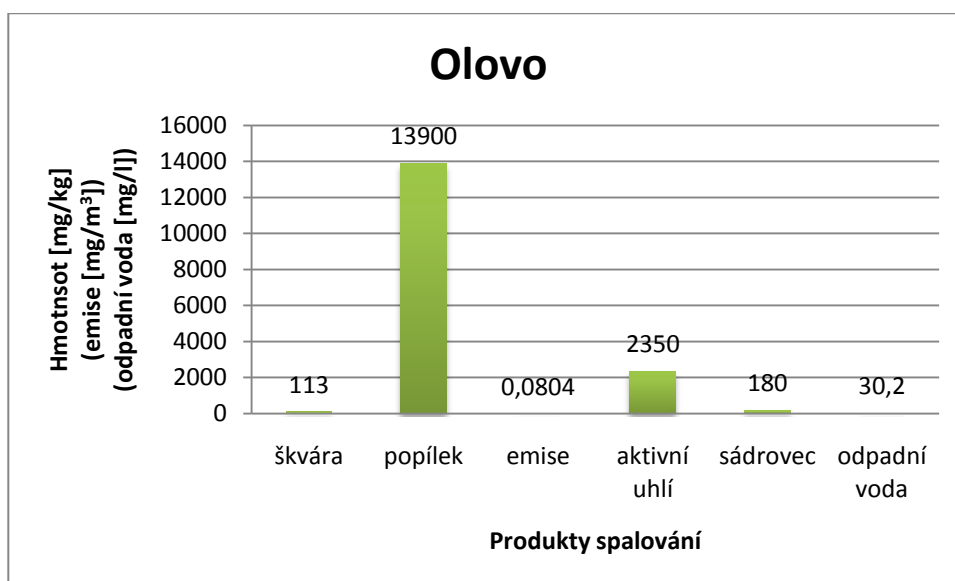
Graf 26: Zastoupení rtuti v jednotlivých produktech spalování odpadů (SPOVO)



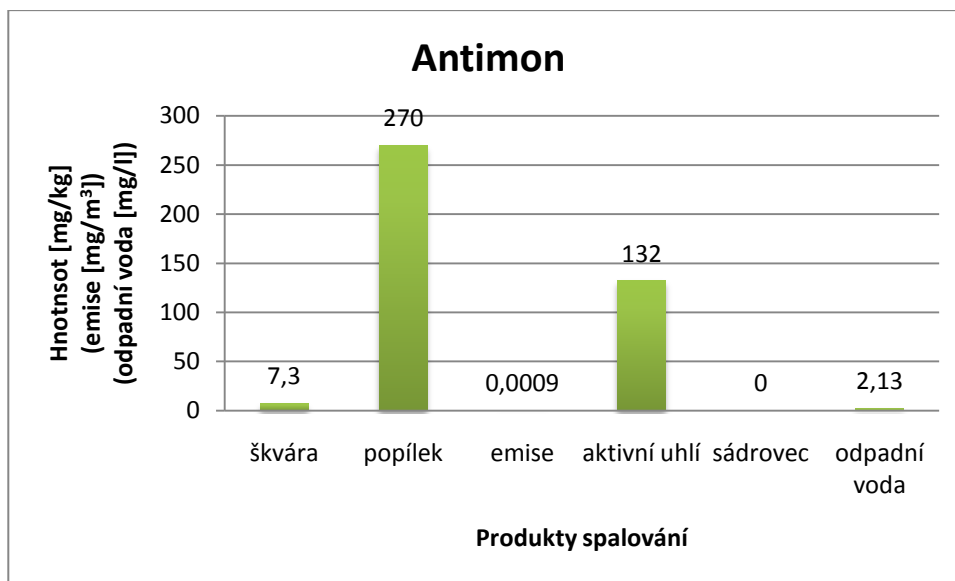
Graf 27: Zastoupení manganu v jednotlivých produktech spalování odpadů (SPOVO)



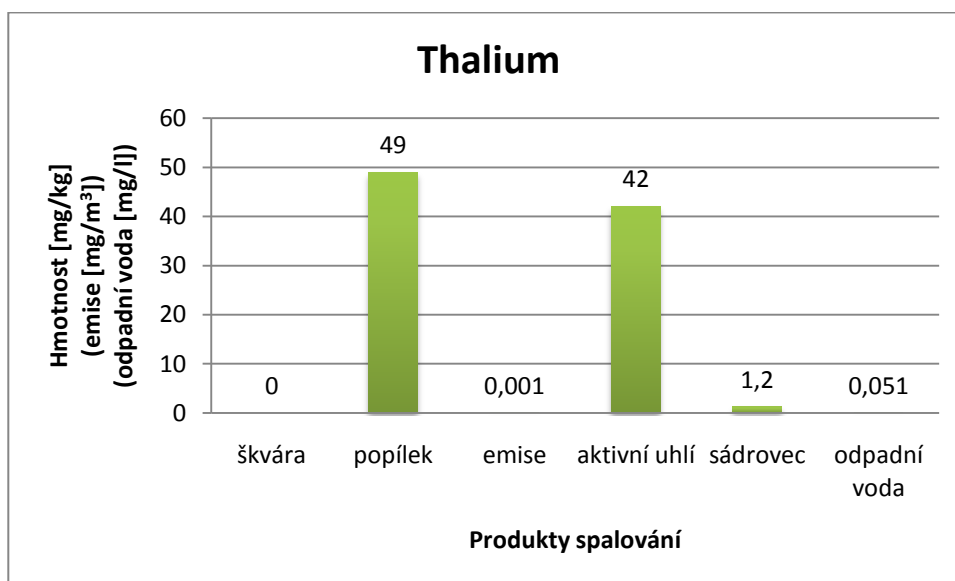
Graf 28: Zastoupení niklu v jednotlivých produktech spalování odpadů (SPOVO)



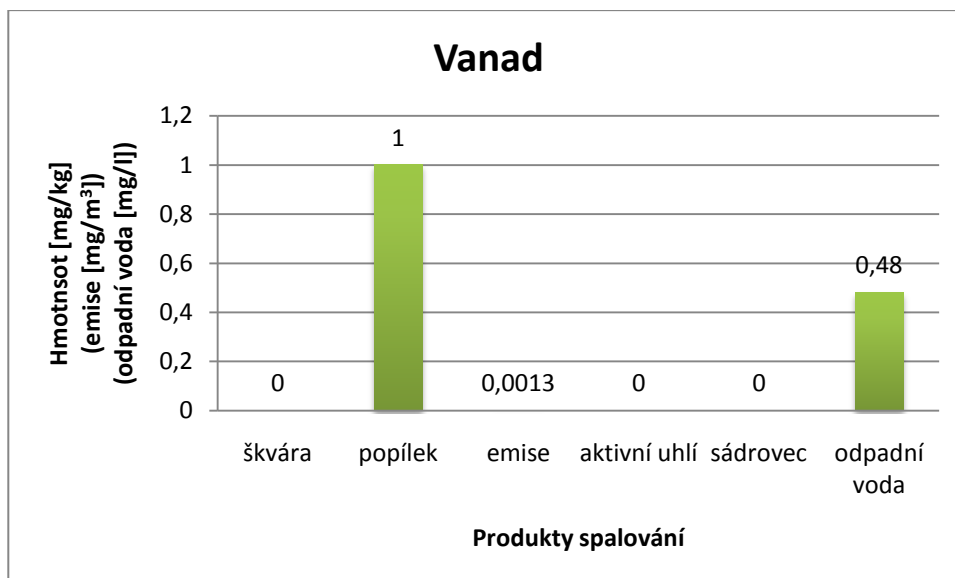
Graf 29: Zastoupení olova v jednotlivých produktech spalování odpadů (SPOVO)



Graf 30: Zastoupení antimonu v jednotlivých produktech spalování odpadů (SPOVO)



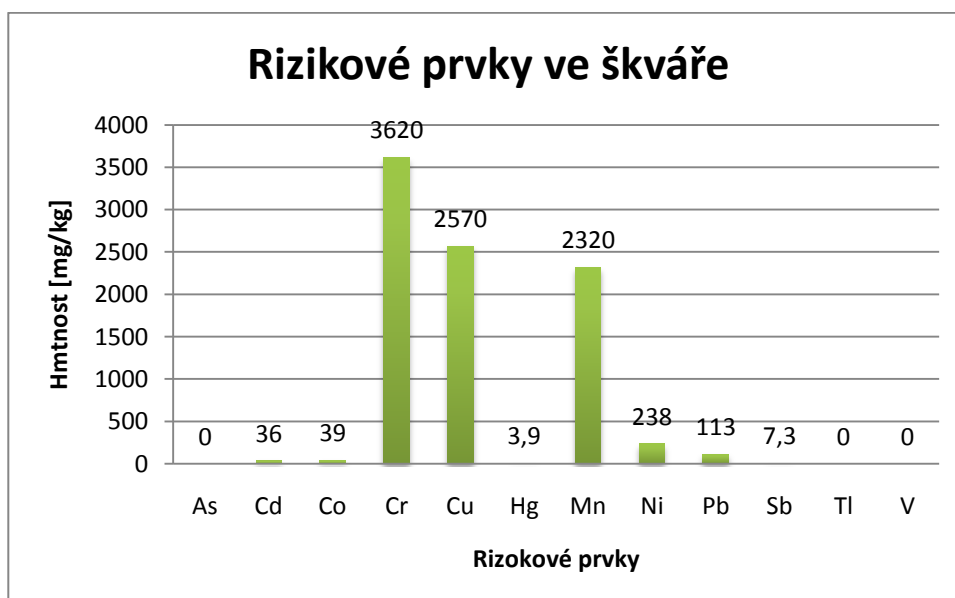
Graf 31: Zastoupení thalia v jednotlivých produktech spalování odpadů (SPOVO)



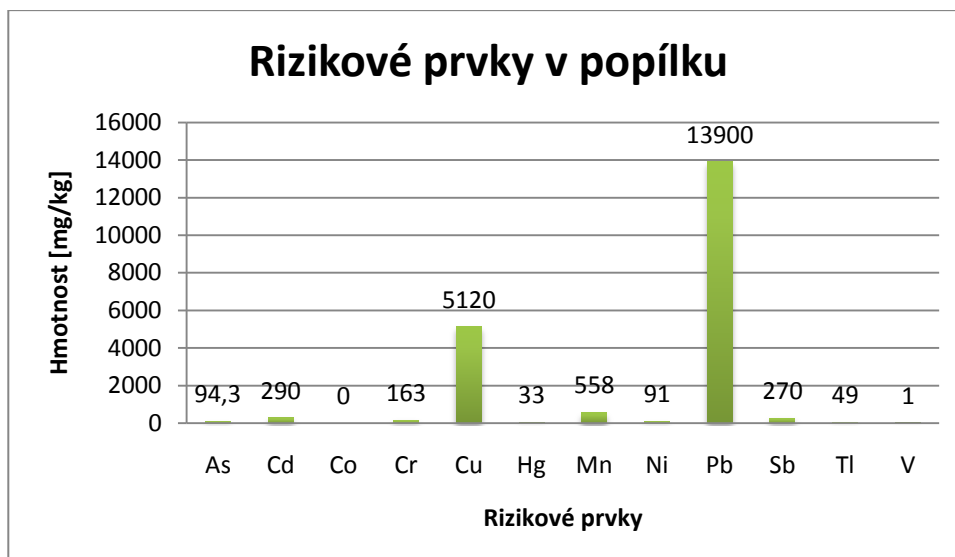
Graf 32: Zastoupení vanadu v jednotlivých produktech spalování odpadů (SPOVO)

6.4.4 Vyhodnocení produktů spalování odpadů (SPOVO)

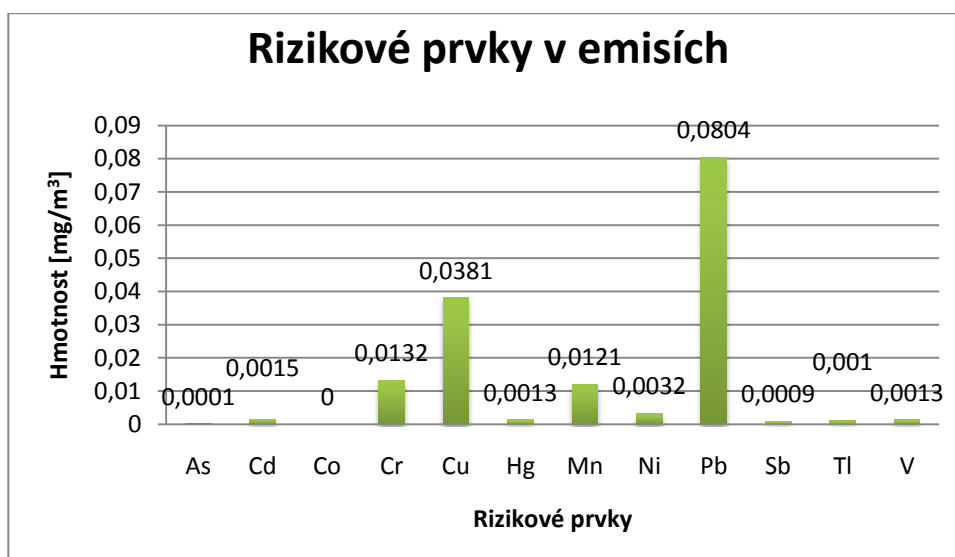
V grafech č. 33, 34, 35, 36, 37 a 38 je graficky znázorněno zastoupení všech vybraných rizikových prvků ve škváře, v popílku, v aktivním uhlí, sádrovci, emisích a odpadní vodě.



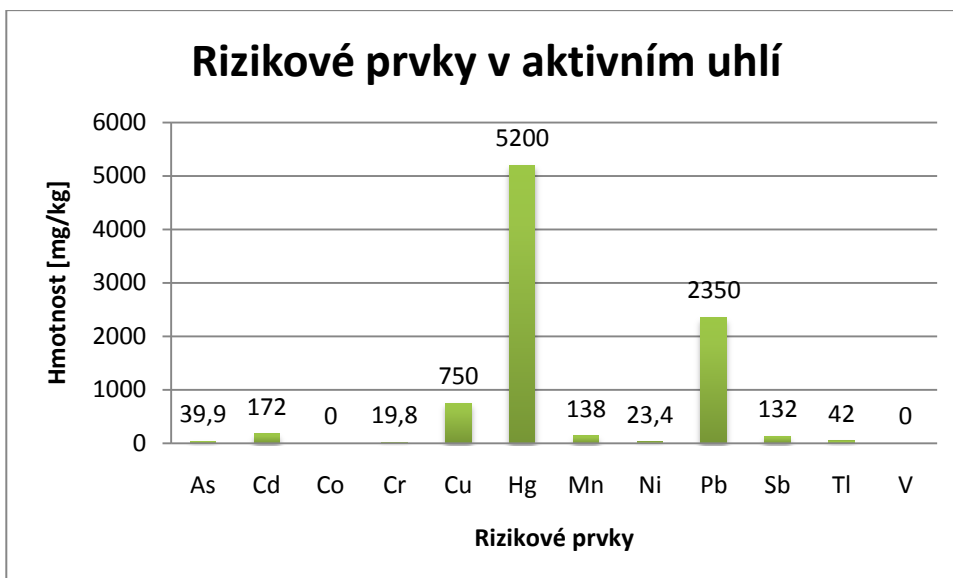
Graf 33: Zastoupení rizikových prvků ve škváře



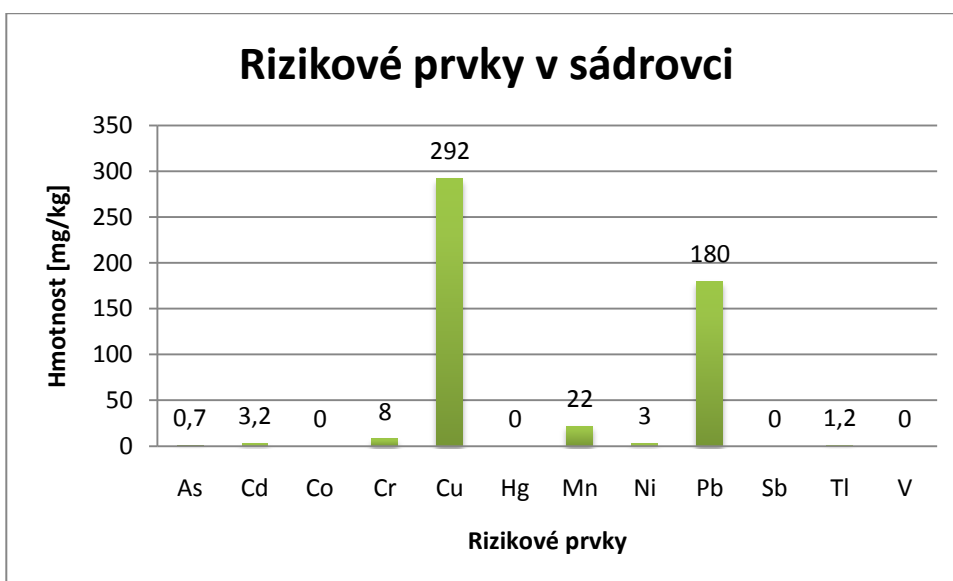
Graf 34: Zastoupení rizikových prvků v popílku



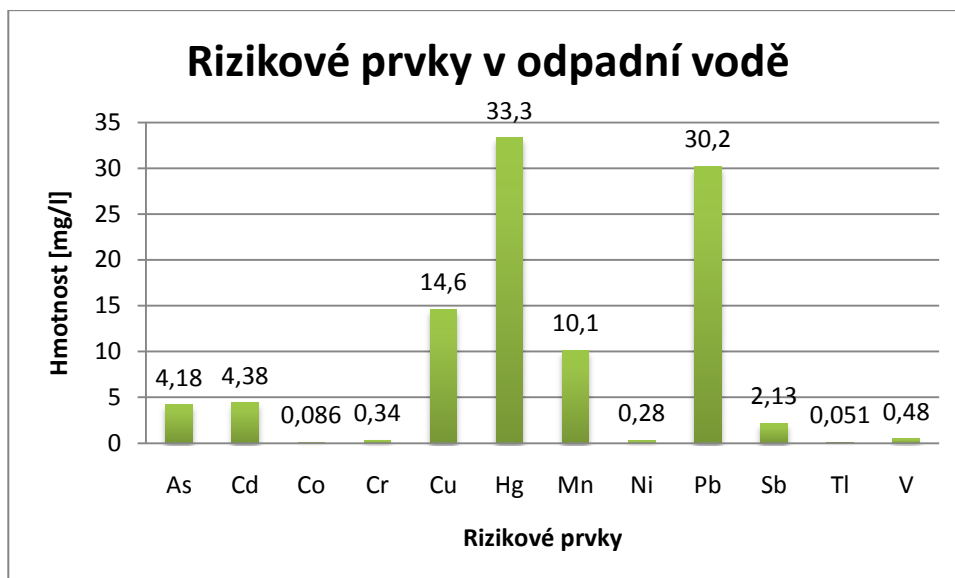
Graf 35: Zastoupení rizikových prvků v emisích



Graf 36: Zastoupení rizikových prvků v aktivním uhlí



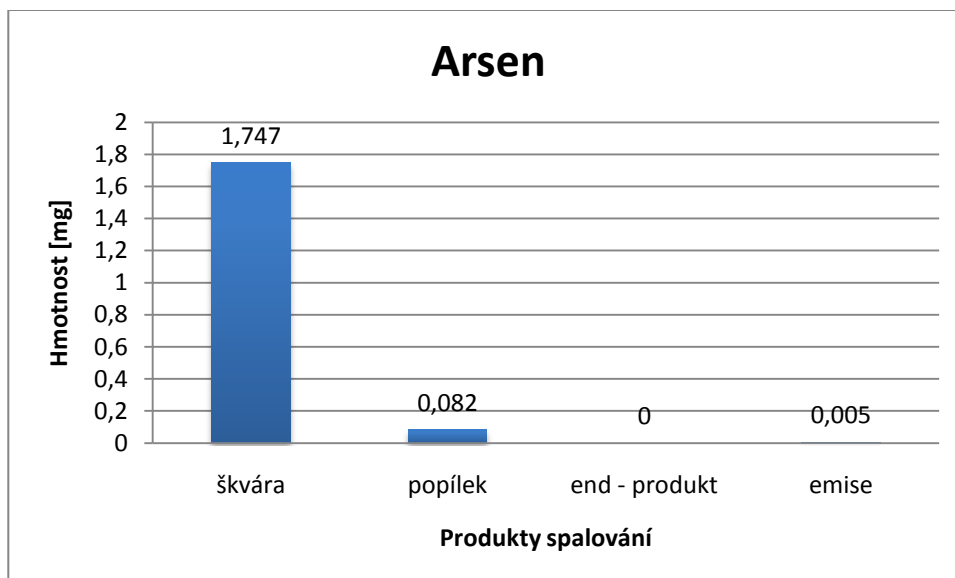
Graf 37: Zastoupení rizikových prvků v sádrovci



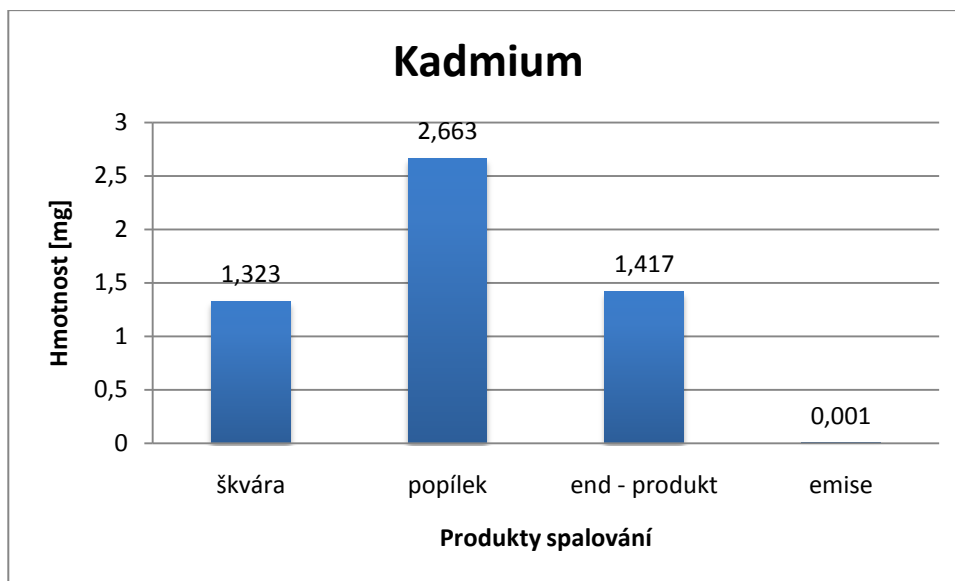
Graf 38: Zastoupení rizikových prvků v odpadní vodě (SPOVO)

6.4.5 Zastoupení RK v produktech po spálení 1 kg odpadu (SAKO)

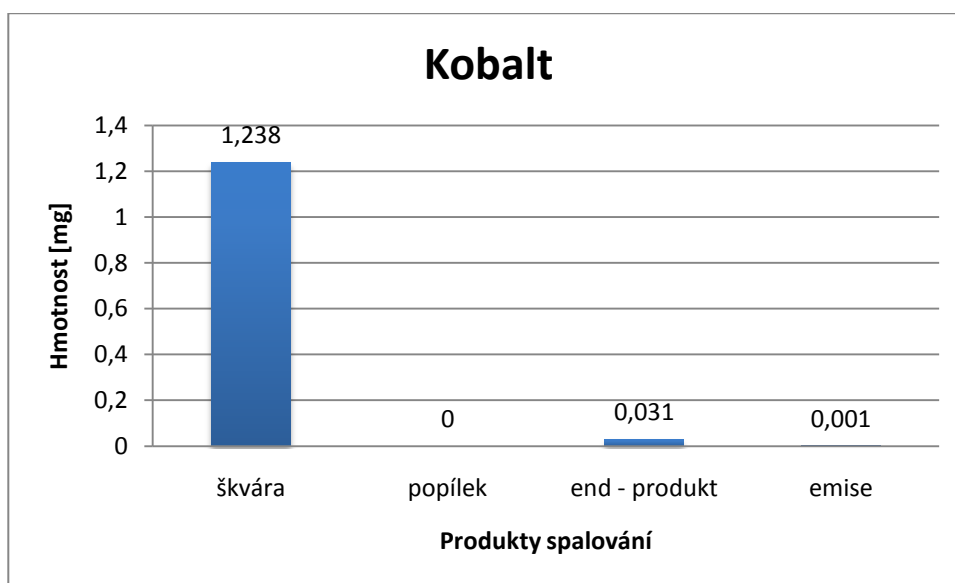
Množství rizikových kovů, které se distribuuje do produktů při spálení 1 kg odpadu ve spalovně SAKO Brno (dle vypočtených hodnot v kapitole 6.3.1 a uvedených v tabulce č. 25), je graficky znázorněno v grafech č. 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50 a 51.



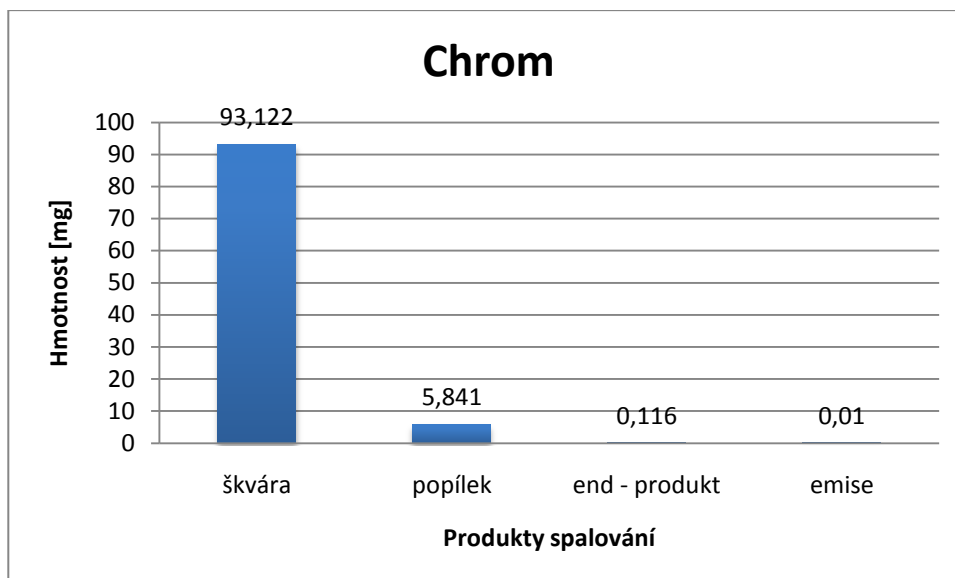
Graf 39: Množství As přítomného v produktech po spálení 1 kg SKO (SAKO)



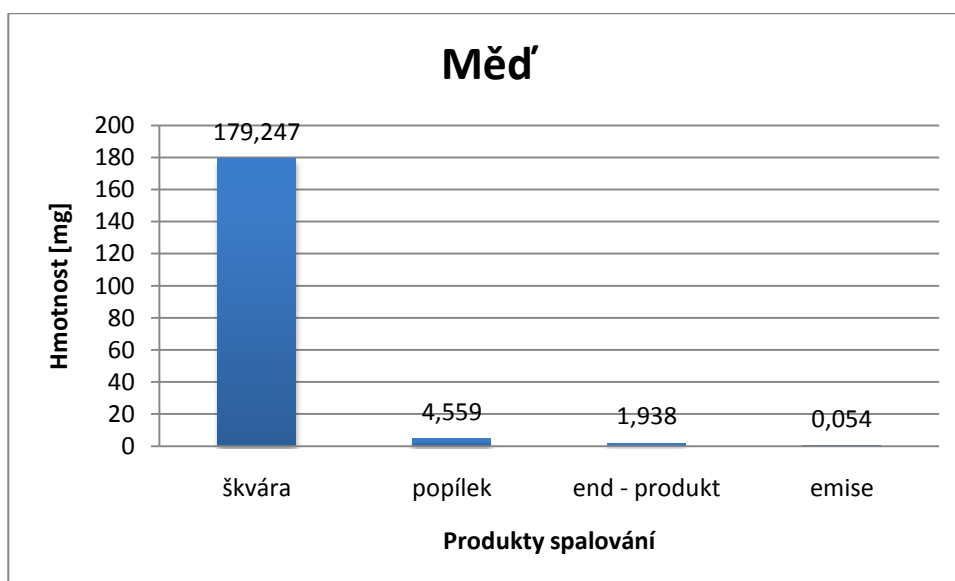
Graf 40: Množství Cd přítomného v produktech po spálení 1 kg SKO (SAKO)



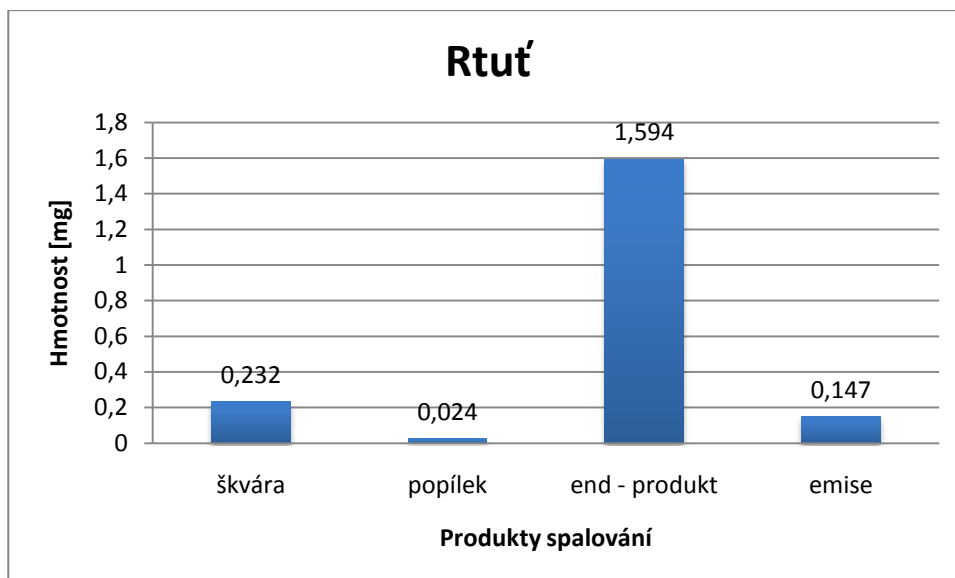
Graf 41: Množství Co přítomného v produktech po spálení 1 kg SKO (SAKO)



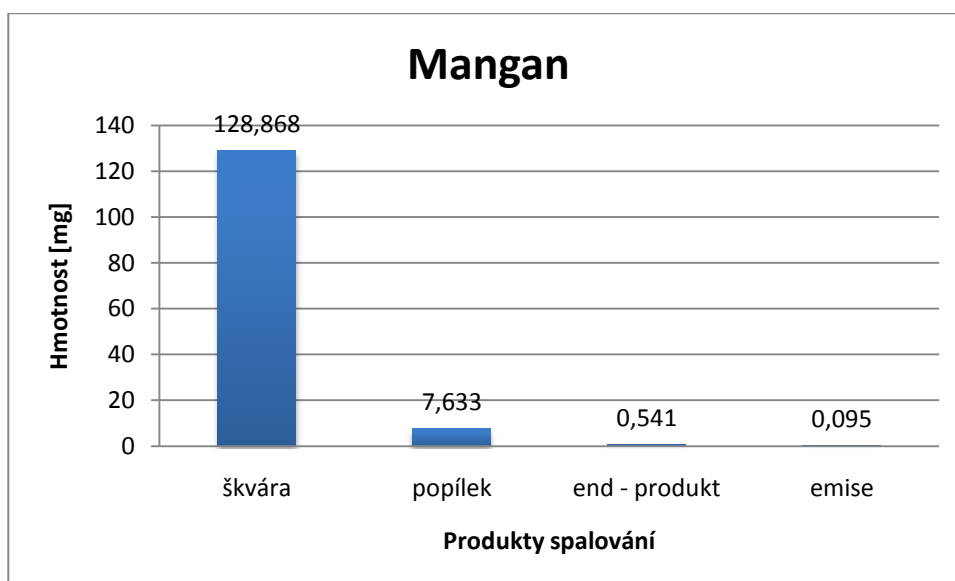
Graf 42: Množství Cr přítomného v produktech po spálení 1 kg SKO (SAKO)



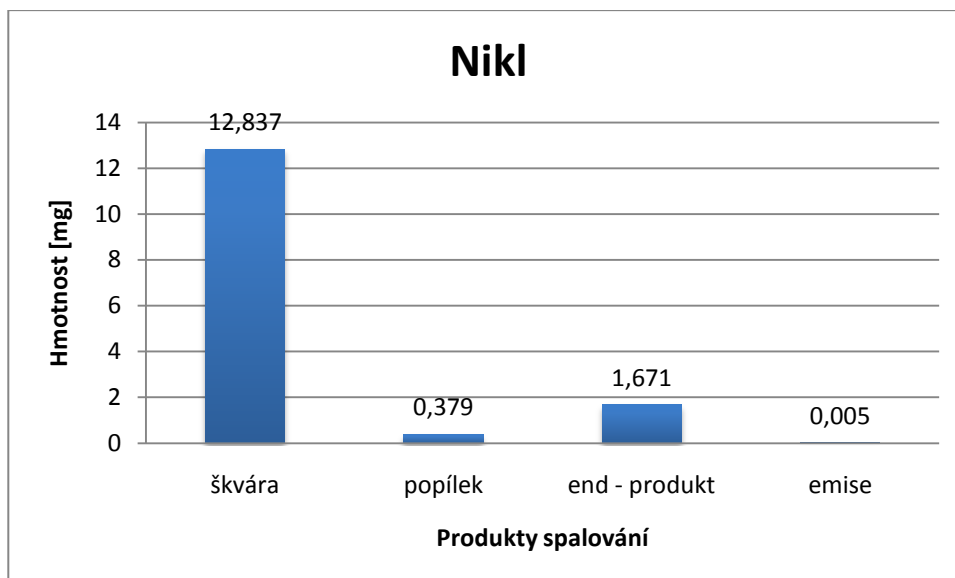
Graf 43: Množství Cu přítomné v produktech po spálení 1 kg SKO (SAKO)



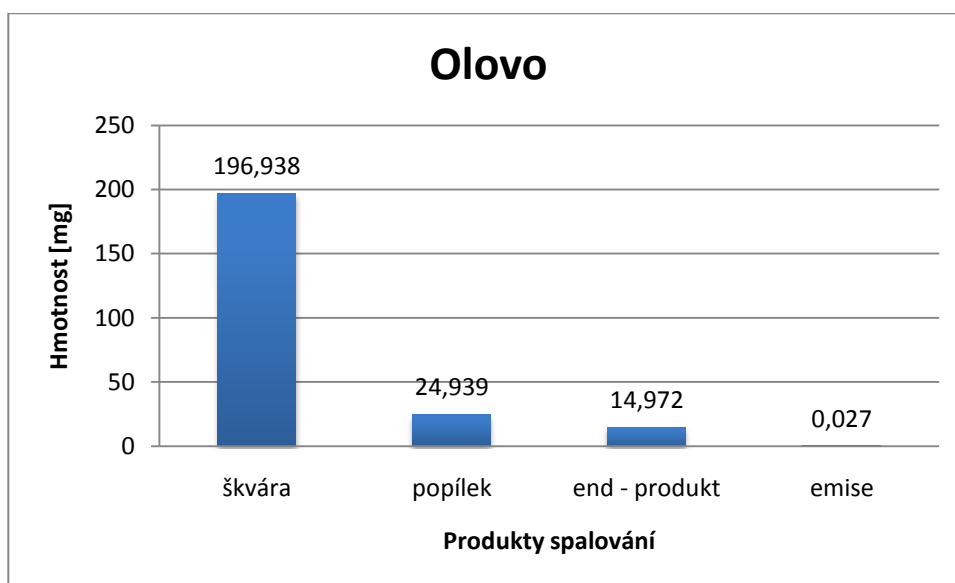
Graf 44: Množství Hg přítomné v produktech po spálení 1 kg SKO (SAKO)



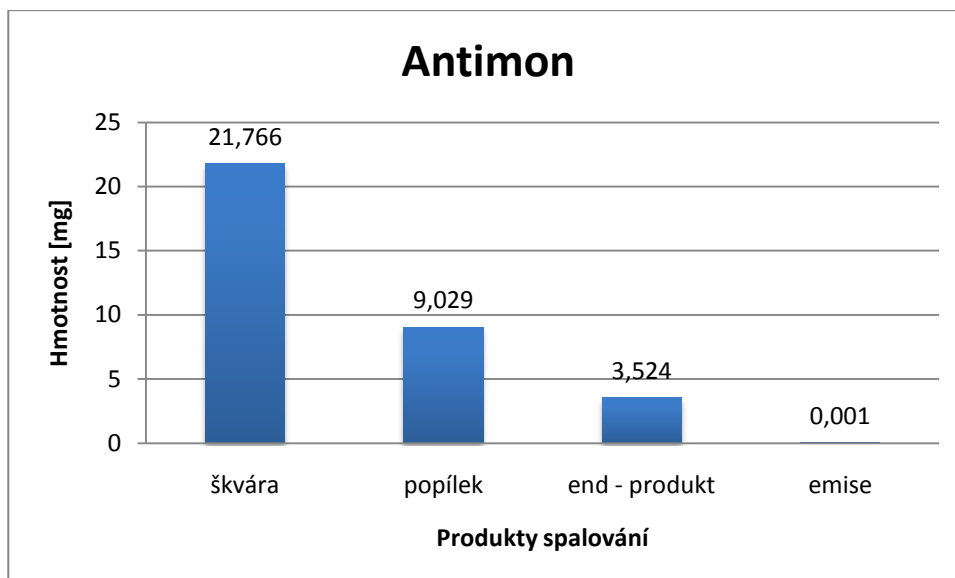
Graf 45: Množství Mn přítomného v produktech po spálení 1 kg SKO (SAKO)



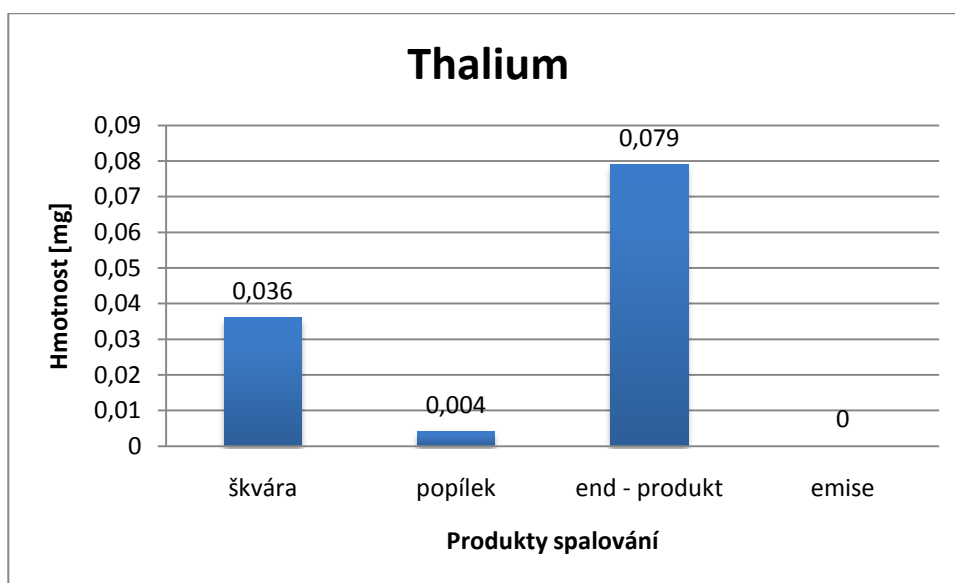
Graf 46: Množství Ni přítomného v produktech po spálení 1 kg SKO (SAKO)



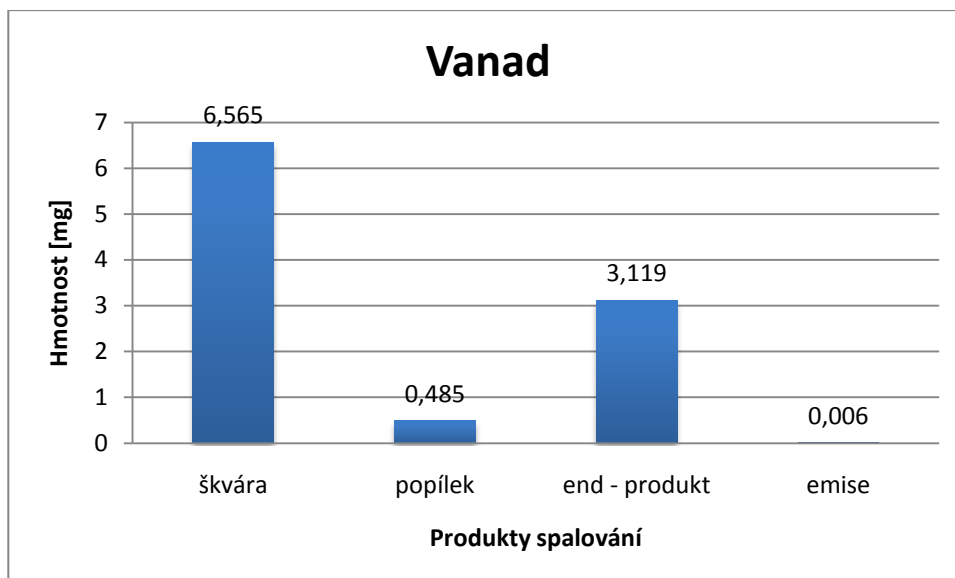
Graf 47: Množství Pb přítomného v produktech po spálení 1 kg SKO (SAKO)



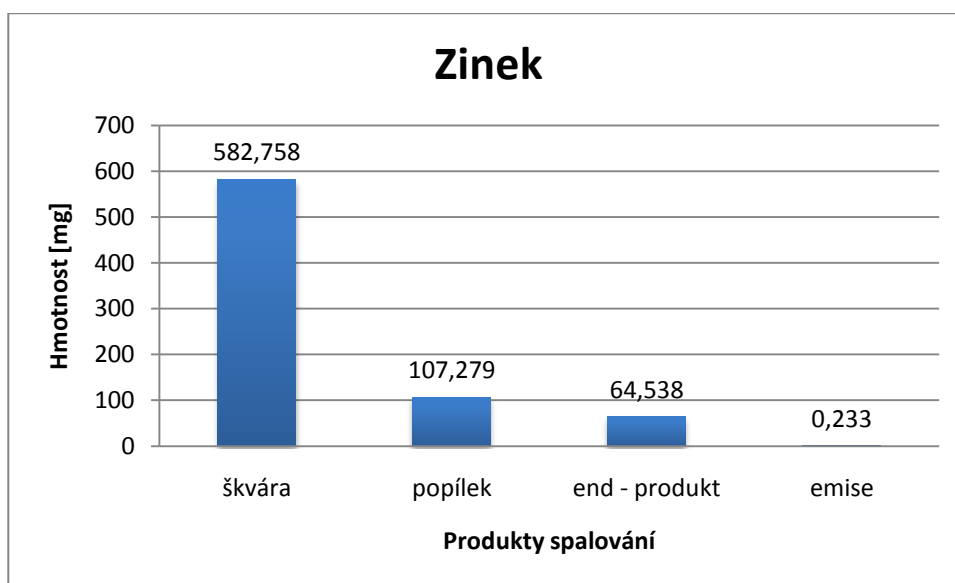
Graf 48: Množství Sb přítomného v produktech po spálení 1 kg SKO (SAKO)



Graf 49: Množství Tl přítomného v produktech po spálení 1 kg SKO (SAKO)



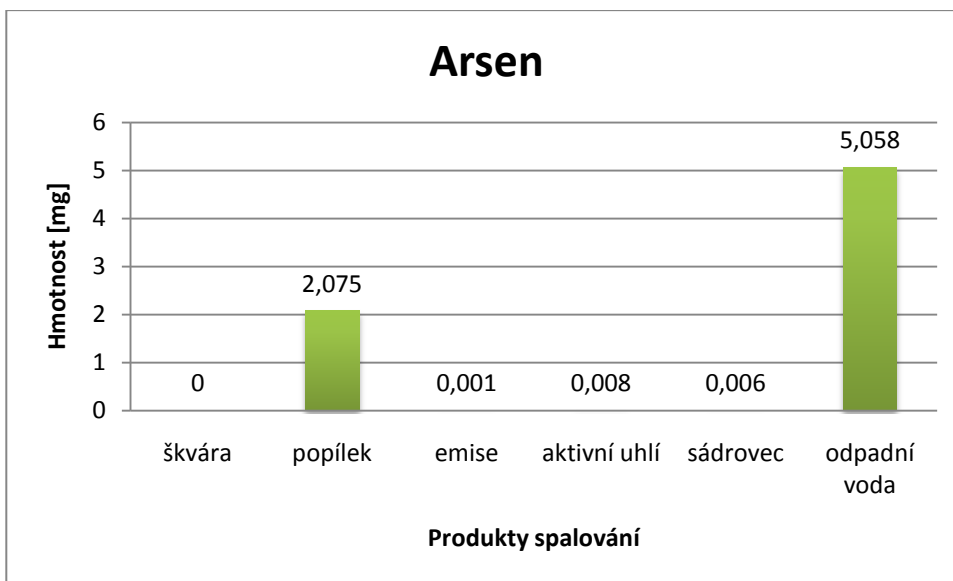
Graf 50: Množství V přítomného v produktech po spálení 1 kg SKO (SAKO)



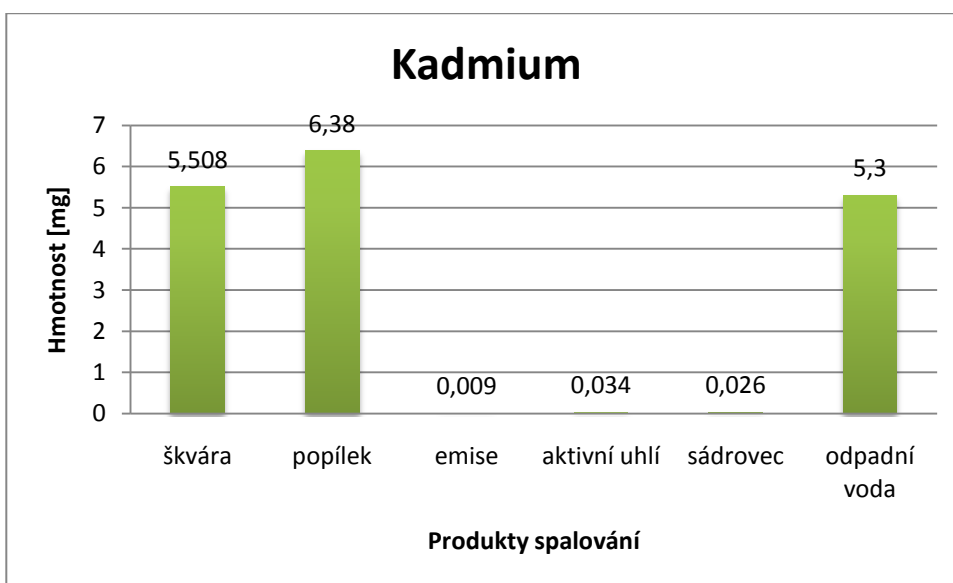
Graf 51: Množství Zn přítomného v produktech po spálení 1 kg SKO (SAKO)

6.4.6 Zastoupení RK v produktech po spálení 1 kg odpadu (SPOVO)

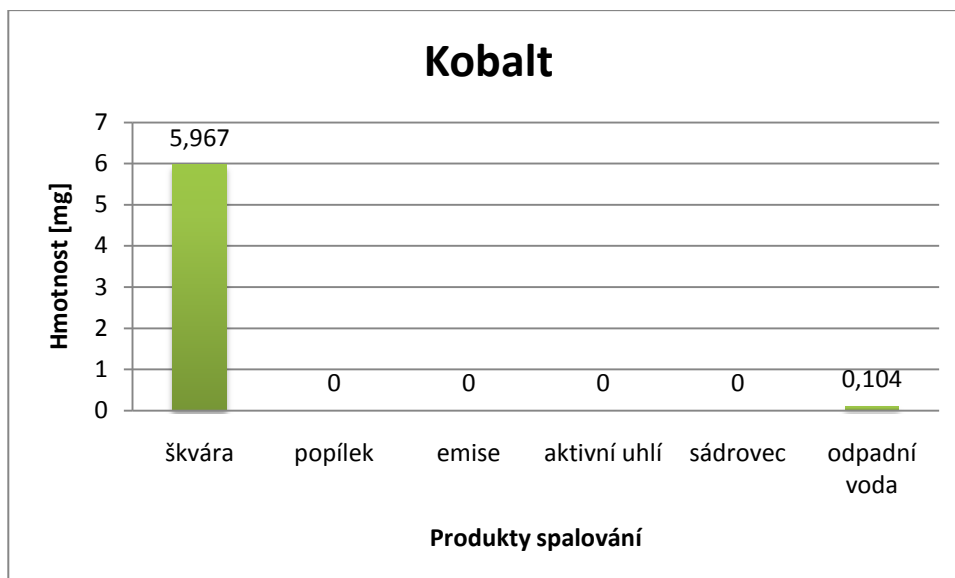
Množství rizikových kovů, které je distribuováno do produktů při spálení 1 kg odpadu ve spalovně SPOVO Ostrava (dle vypočtených hodnot v kapitole 6.3.2 a uvedených v tabulce č. 26), je graficky znázorněno v grafech č. 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62 a 63.



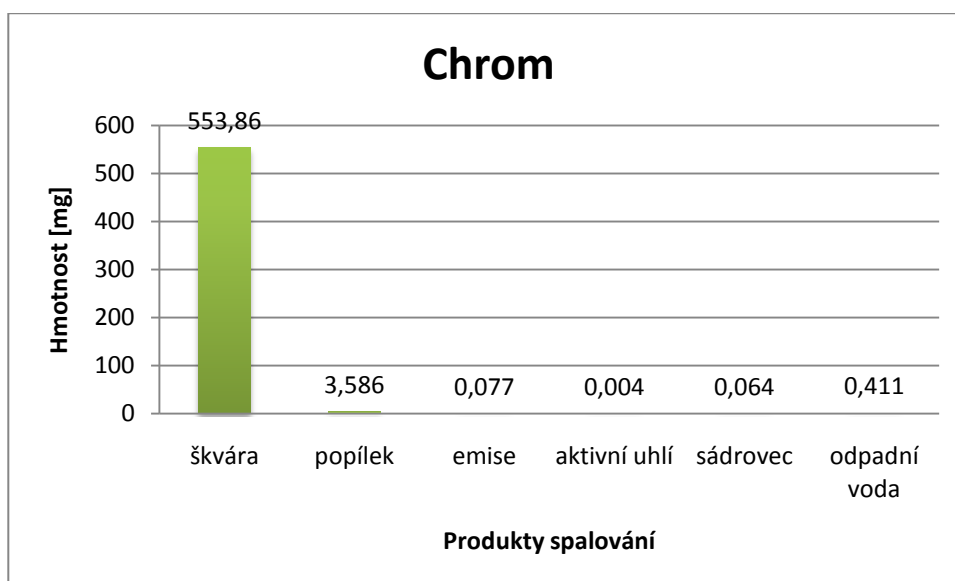
Graf 52: Množství As přítomného v produktech po spálení 1 kg odpadu (SPOVO)



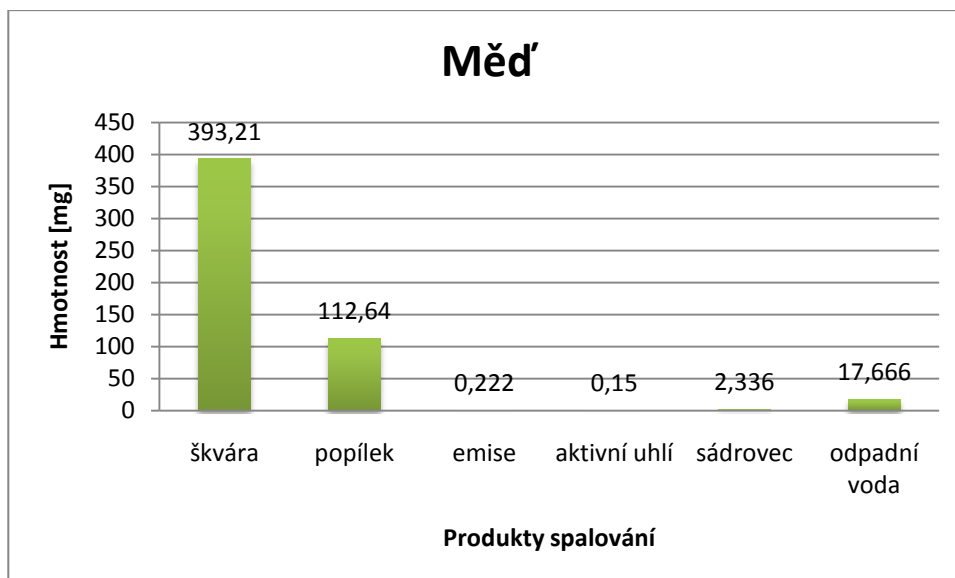
Graf 53: Množství Cd přítomného v produktech po spálení 1 kg odpadu (SPOVO)



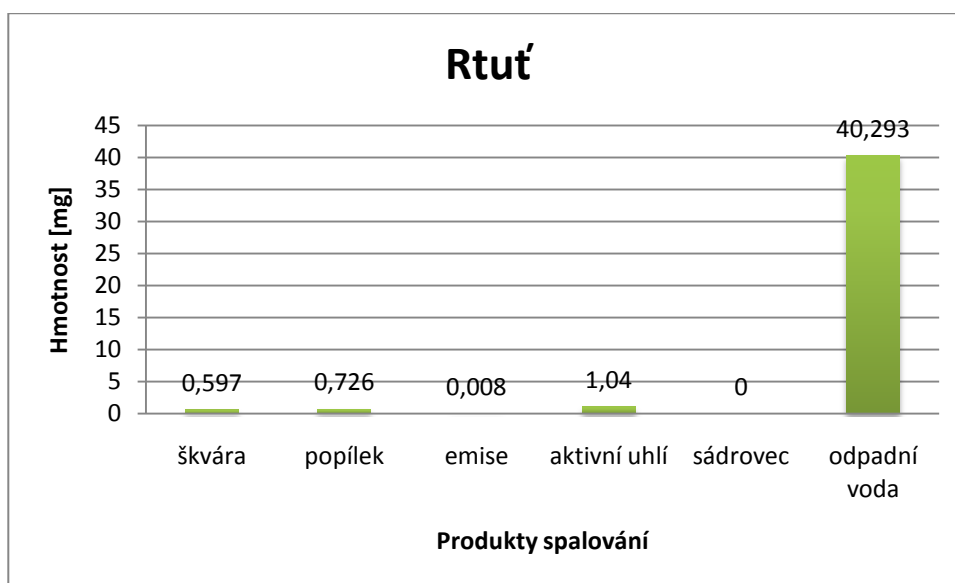
Graf 54: Množství Co přítomného v produktech po spálení 1 kg odpadu (SPOVO)



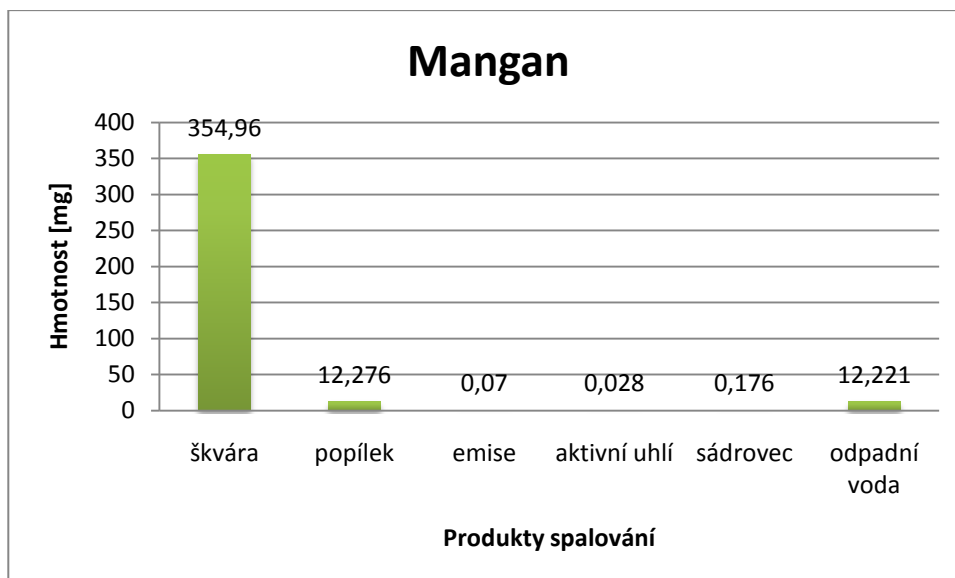
Graf 55: Množství Cr přítomného v produktech po spálení 1 kg odpadu (SPOVO)



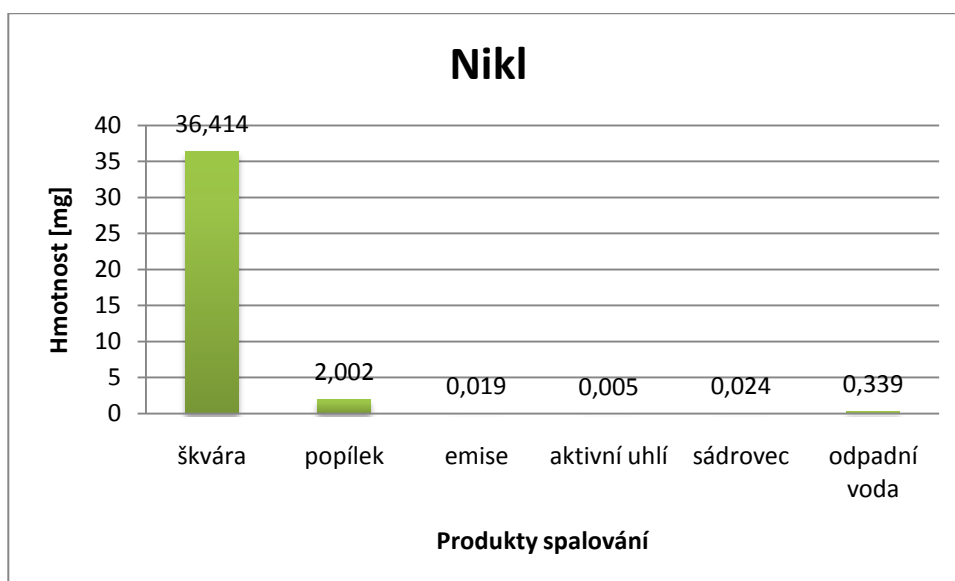
Graf 56: Množství Cu přítomné v produktech po spálení 1 kg odpadu (SPOVO)



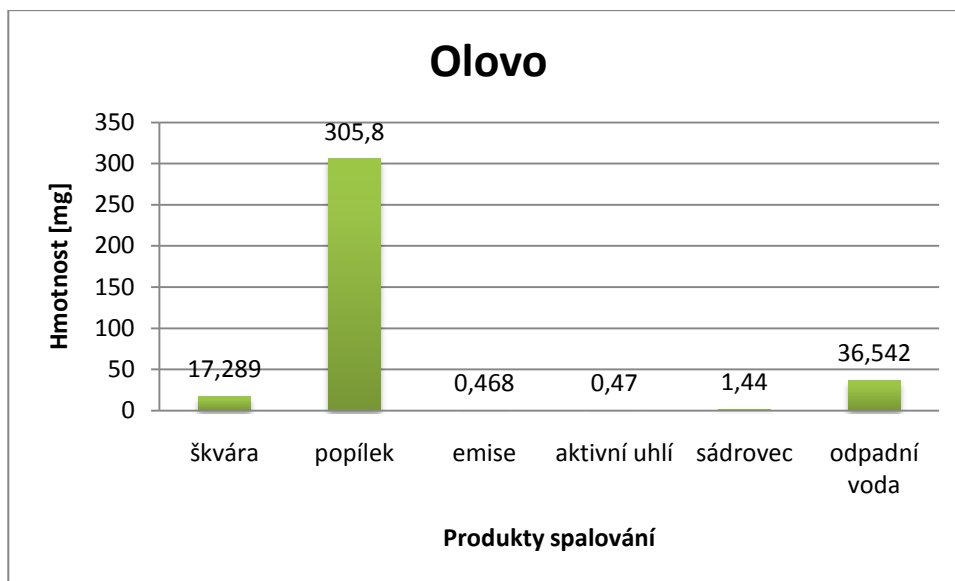
Graf 57: Množství Hg přítomné v produktech po spálení 1 kg odpadu (SPOVO)



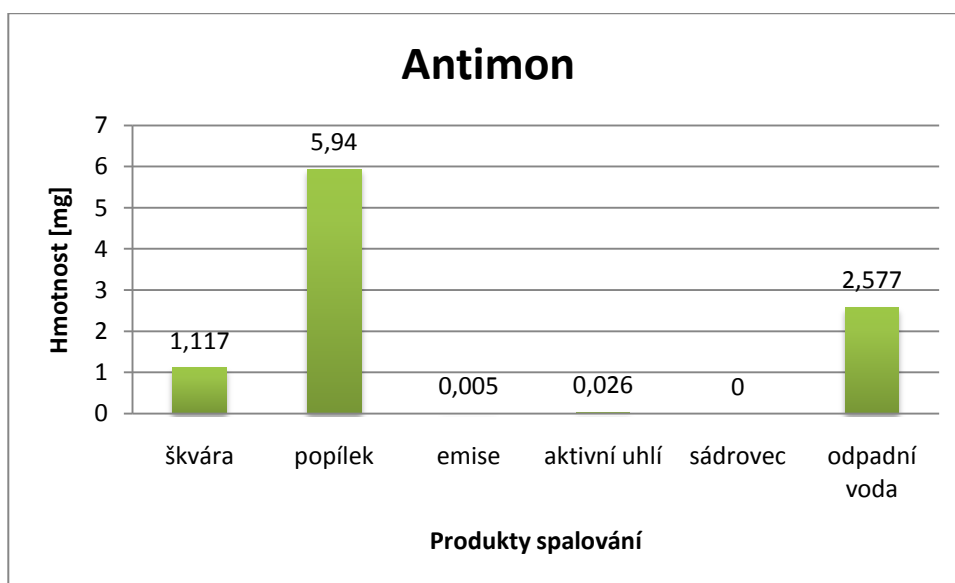
Graf 58: Množství Mn přítomného v produktech po spálení 1 kg odpadu (SPOVO)



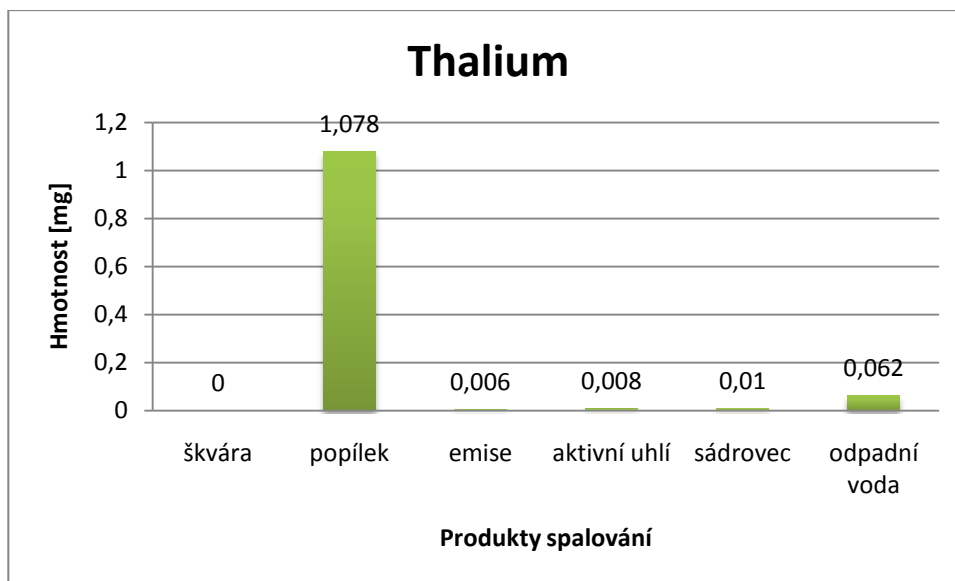
Graf 59: Množství Ni přítomného v produktech po spálení 1 kg odpadu (SPOVO)



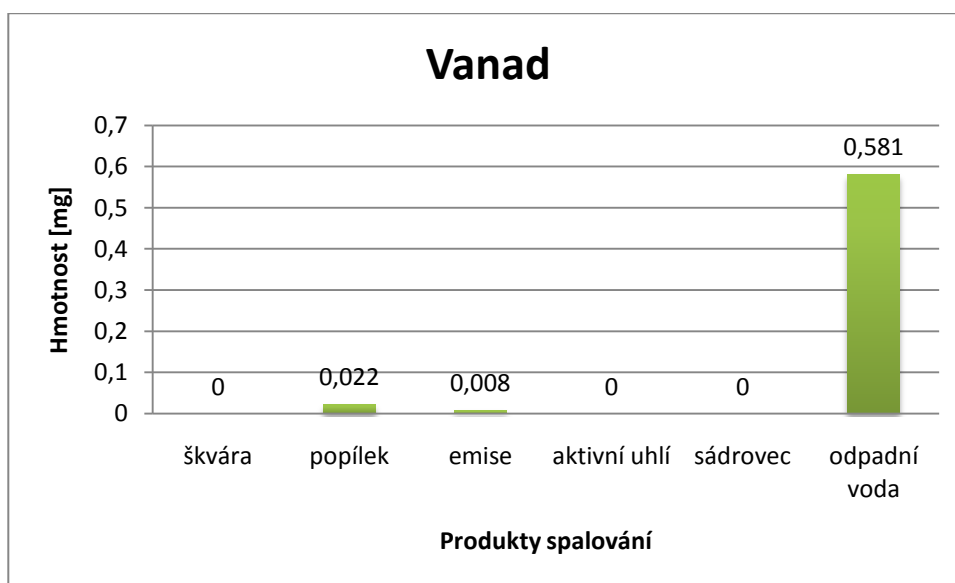
Graf 60: Množství Pb přítomného v produktech po spálení 1 kg odpadu (SPOVO)



Graf 61: Množství Sb přítomného v produktech po spálení 1 kg odpadu (SPOVO)



Graf 62: Množství Tl přítomného v produktech po spálení 1 kg odpadu (SPOVO)



Graf 63: Množství V přítomného v produktech po spálení 1 kg odpadu (SPOVO)

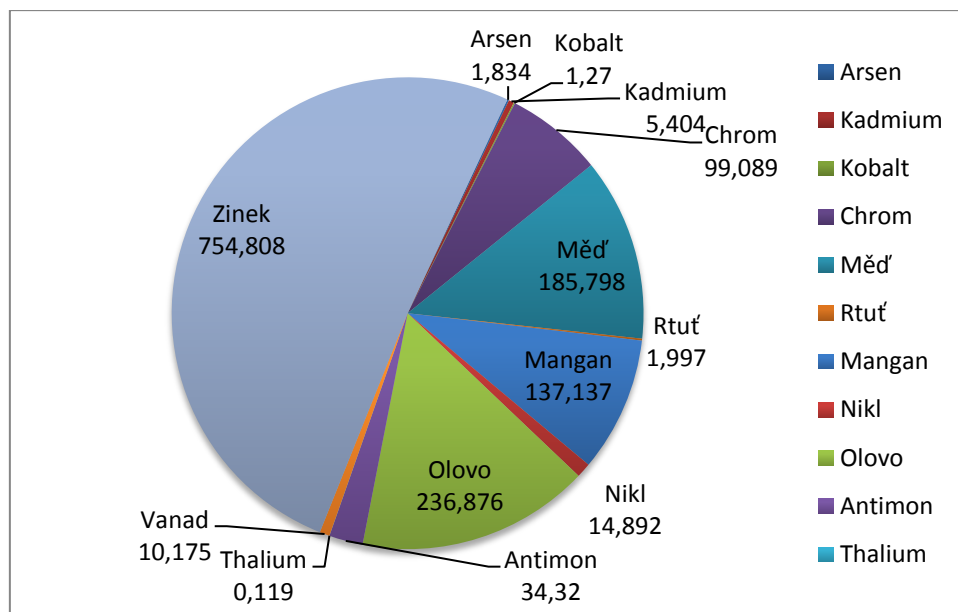
6.4.7 Vyhodnocení celkové distribuce vybraných prvků do produktů spalování odpadů (SAKO)

Vyhodnocení celkové distribuce kovů při spálení 1 kg SKO je založeno na sečtení a vytvoření celkové sumy všech vypočtených hodnot ve škváře, popílku, end – produktu a emisích pro každý prvek zvlášť. V tabulce č. 27 je uveden přehled celkové distribuce a tento fakt je z různých hledisek graficky znázorněn v grafech č. 64 a 65.

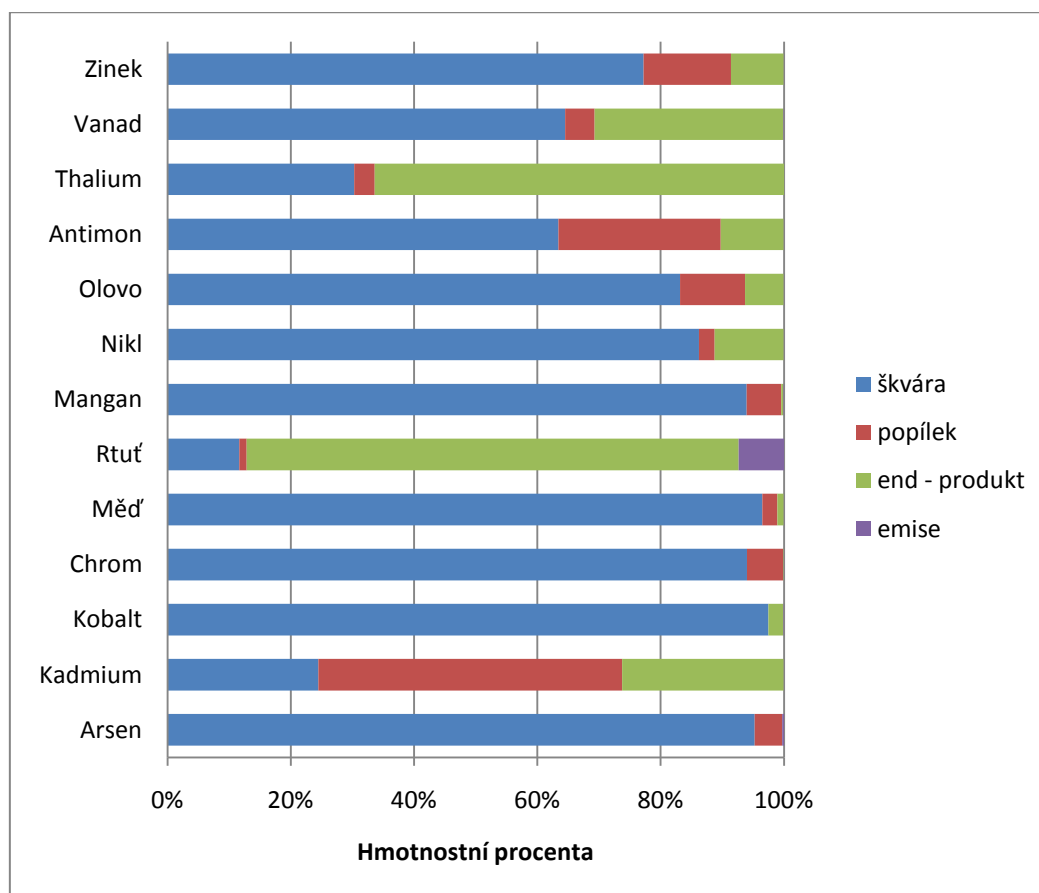
Na základě zjištěných hodnot toku rizikových kovů do jednotlivých produktů po spálení 1 kg SKO byla součtem zjištěna hodnota množství kovů v 1 kg odpadu.

Tabulka 27: Množství RK v 1 kg SKO (SAKO)

Spalovna:	celkové množství v SKO
SAKO	
Jednotka	[mg/kg]
Arsen	1,834
Kadmium	5,404
Kobalt	1,27
Chrom	99,089
Měď	185,798
Rtuť	1,997
Mangan	137,137
Nikl	14,892
Olovo	236,876
Antimon	34,32
Thalium	0,119
Vanad	10,175
Zinek	754,808



Graf 64: Obsah rizikových kovů v 1 kg SKO [mg/kg] (SAKO)



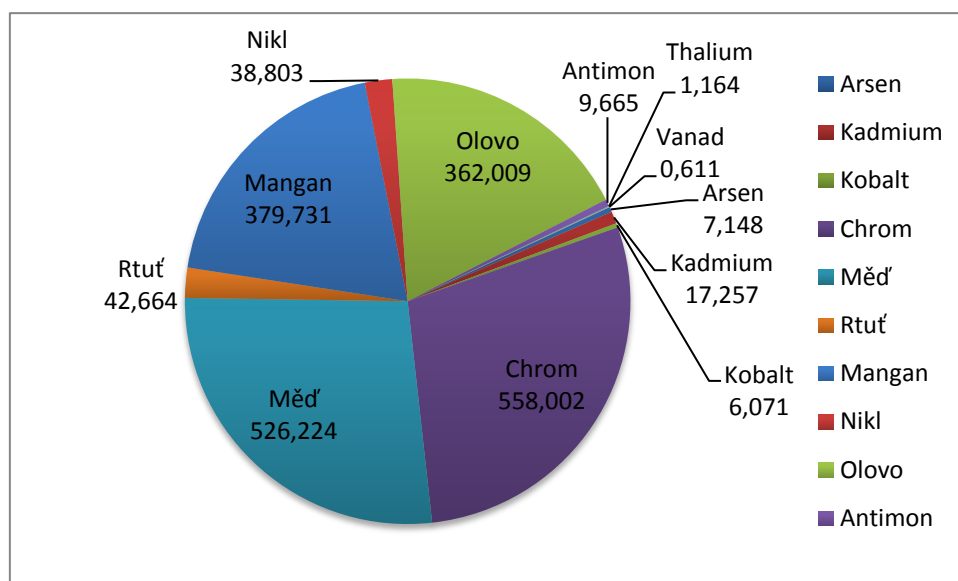
Graf 65: Procentuální porovnání celkové distribuce RK po spálení 1 kg SKO (SAKO)

6.4.8 Vyhodnocení celkové distribuce vybraných prvků do produktů spalování odpadů (SPOVO)

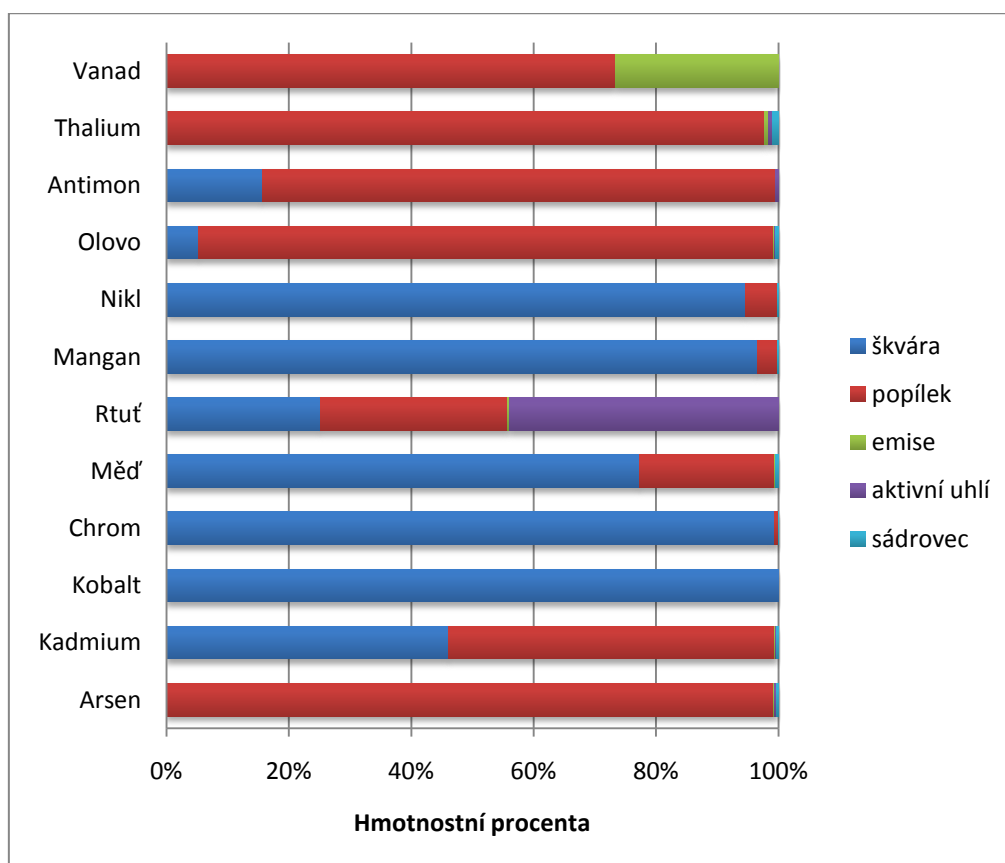
Přehled celkové distribuce rizikových prvků je uveden v tabulce č. 28 a dále graficky v grafu č. 66 a 67. Z grafu č. 67 bylo z důvodů srovnání obou spaloven odstraněno grafické znázornění hmotnostních procent odpadní vody v jednotlivých RK.

Tabulka 28: Množství RK v 1 kg odpadu (SPOVO)

Spalovna:	celkové množství v odpadu
SPOVO	
Jednotka	[mg/kg]
Arsen	7,148
Kadmium	17,257
Kobalt	6,071
Chrom	558,002
Měď	526,224
Rtuť	42,664
Mangan	379,731
Nikl	38,803
Olovo	362,009
Antimon	9,665
Thalium	1,164
Vanad	0,611



Graf 66: Obsah rizikových kovů v 1 kg odpadu [mg/kg] (SPOVO)



Graf 67: Procentuální porovnání celkové distribuce RK po spálení 1 kg odpadu (SPOVO)

7 ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo porozumět distribuci toxických prvků během celého spalovacího procesu při spalování odpadů. Součástí práce bylo rovněž pochopení zákonitostí vazeb vybraných toxických prvků na různé produkty spalování.

Zákonitosti jsem studoval při analýze vzorků produktů spalování pocházejících ze dvou tuzemských spaloven SAKO Brno, a.s. a SPOVO Ostrava, a.s. K těmto produktům spalování řadíme zejména škváru, popílek, aktivní uhlí, sádrovec, end – produkt, odpadní vodu a emise. Z dostupných literárních pramenů vyplývá fakt, že závisí zejména na spalovací teplotě, složení odpadu, teplotě varu kovů a obsahu chlóru.

Při analýze vzorků pocházejících ze spalovny SAKO Brno jsem zjistil, že na škváru se nejvíce váže Zn, Pb, Ni, Mn, Cu, Cr, Co, As, V, na popílek Sb, Cd a na end – produkt se váže Tl a Hg. Nejvyšší koncentrace v emisích byla naměřena u rtuti.

U vzorků ze spalovny SPOVO Ostrava jsem zjistil, že na škváru se nejvíce váže Ni, Mn, Cr, Co, Cu, na popílek As, Cd, Pb, Sb, Tl, V, na aktivní uhlí hlavně Hg a na odpadní vodu V, As a Hg. Na sádrovci byly naměřené koncentrace ve srovnání s ostatními produkty spalování u všech toxických prvků minimální. V emisích byla největší koncentrace naměřena u vanadu.

Na podkladě znalosti obsahu jednotlivých kovů v produktech po spálení 1 kg odpadu bylo dle zákona zachování hmoty určeno množství jednotlivých kovů obsažených v 1 kg odpadu, přičemž v případě spalovny SAKO Brno má největší zastoupení Zn, Pb, Cu, Mn a Cr, a v případě spalovny SPOVO Ostrava Cr, Pb, Cu a Mn. Jelikož zinek nebyl předmětem zkoumání u spalovny SPOVO Ostrava, nelze jej tedy srovnat z hlediska zastoupení u obou spaloven. Ovšem u ostatních prvků (Pb, Cr, Cu, Mn) je zřejmé, že jejich zastoupení je u obou spaloven shodně majoritní, přičemž u spalovny SPOVO Ostrava několika násobně vyšší. Z toho vyplývá, že i když byl spalován odpad s odlišným složením, i přesto jsou z hlediska kvantity tyto prvky v odpadu obsaženy v největší míře. Celkové množství rizikových kovů obsažených v 1 kg odpadu je u spalovny SPOVO Ostrava rovněž násobně vyšší, než u spalovny SAKO Brno.

Z výsledků analýz vzorků z obou spaloven je tedy patrné, že velmi záleží na spalovací teplotě. Prvky s vysokým bodem varu se vážou hned na začátku spalovacího procesu na škváru (Ni, Mn, Cr, Cu, Co, Zn). Prvky s nízkým bodem varu se zachycují až v prvním stupni čištění spalin (Cd, Sb), kde se zachycují navázané na popílku, případně na

druhém stupni čištění spalin (Hg), kde se vážou na aktivní uhlí, či end – produkt. Mírné rozdíly v zastoupení rizikových prvků v jednotlivých produktech spalování u obou spaloven poukazují na skutečnost, že významně záleží na původu a také na chemických a fyzikálních vlastnostech spalovaného odpadu.

Technologie použité ve velkých spalovnách jsou v dnešní době velmi pokročilé a vyspělé. Většina toxických prvků se zachytí na produktech spalování, které jsou poté převezeny na skládky nebezpečného odpadu, případně na skládky ostatního odpadu po předchozí stabilizaci. Takto uložený odpad již má minimální dopad na životní prostředí. Při měření emisí byly sice naměřeny koncentrace toxických prvků, ale tyto hodnoty byly zanedbatelně nízké a několika násobně pod hranicí emisních limitů.

8 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] OBROUČKA, Karel. *Termické zneškodňování odpadů*. Vyd. 1. Ostrava: VŠB-TU, 1997. 144 s. ISBN 80-7078-505-5.
- [2] STRAKA, František. *Metody likvidace tuhých odpadů*. Vyd. 1. Praha: VUSTE, 1997. 237 s. ISBN 80-85122-07-3.
- [3] JUCHELKOVÁ, Dagmar. *Odpady, vedlejší produkty a nakládání s nimi*. Vyd. 1. Ostrava: VŠB-TU, 2005. 98 s. ISBN 80-248-0753-X.
- [4] RYBÍN, Miroslav. *Energetické využití spalitelných odpadů*. Praha: Ústav pro výzkum a využití paliv, 1981. 104 s.
- [5] HYŽÍK, Jaroslav. *Energetická účinnost spaloven a rámcová směrnice o odpadech*. Odpadové fórum, 2008, roč. 9, č. 10, s. 9-12.
- [6] ČSN 063090 *Zařízení pro termické zneškodňování odpadů*. Praha: Český normalizační institut, 1997. 36 s.
- [7] NOVÁ, Drahomíra. *Možnosti energetického využití odpadů*. Praha: UVTEI/UTEIN, 1984. 55 s.
- [8] JUCHELKOVÁ, Dagmar. *Nakládání s odpady*. Vyd. 1. Ostrava: Repronis Ostrava, 2005. 164 s. ISBN 80-248-0839-0.
- [9] JUCHELKOVÁ, Dagmar. *Likvidace a využití odpadů*. Vyd. 1. Ostrava: VŠB-TU, 2000. 73 s. ISBN 80-7078-747-3.
- [10] PROKEŠ, Jaroslav. *Základy toxikologie: obecná toxikologie a ekotoxikologie*. Vyd. 1. Praha: Nakladatelství Galén, 2005. 248 s. ISBN 80-7262-301-X (Galén, Praha), ISBN 80-246-1085-X (Karolinum, Praha).
- [11] TICHÝ, Miloň. *Toxikologie pro chemiky: Toxikologie obecná, speciální, analytická a legislativa*. Vyd. 2. Praha: Karolinum, 2003. 119 s. ISBN 80-246-0566-X.
- [12] HERČÍK, Miloslav. *Životní prostředí*. Vyd. 1. Ostrava: VŠB-TU, 2006. 150 s. ISBN 80-248-1073-5.
- [13] HERČÍK, Miloslav; DIRNER, Vojtech. *Základy environmentalistiky*. Vyd. 1. Ostrava: VŠB-TU, 2007. 109 s. ISBN 978-80-248-1392-9.

- [14] HLAVATÁ, Miluše. *Odpadové hospodářství*. Vyd. 1. Ostrava: VŠB-TU, 2006. 174 s. ISBN 80-248-0737-8.
- [15] DIRNER, Vojtech a kol. *Ochrana životního prostředí*. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 1997. 333 s. ISBN 80-7078-490-3.
- [16] RICHTER, Miroslav. *Technologie ochrany životního prostředí*. Ústí nad Labem: Univerzita Jana Evangelisty Purkyně, 2003. 92 s.
- [17] VEJVODA, Josef; MACHAČ, Pavel; BURYAN, Petr: *Technologie ochrany ovzduší a čištění odpadních plynů*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2002. 226 s.
- [18] *Zařízení na energetické využití odpadu – ZEVO* [online]. Praha: Pražské služby, aktualizováno (17.10.2006) [cit. 2008-3-9]. Dostupný na WWW: <<http://www.psas.cz/main.cfm?path=10,25>>.
- [19] *Přehled právních předpisů v oblasti ochrany ovzduší od roku 2002* [online]. Praha: Občanské sdružení Ochrana kvality ovzduší, aktualizováno (1.12.2007) [cit. 2008-3-2]. Dostupný na WWW: <<http://www.ochrana-ovzdusi.cz/>>.
- [20] *Platná legislativa Evropské unie* [online]. Praha: Economia, aktualizováno (19.4.2004) [cit. 2010-3-7]. Dostupný na WWW: <http://odpady.ihned.cz/1-10066050-14239160-E00000_detail-41>.
- [21] *Vyhláška Ministerstva životního prostředí a Ministerstva zdravotnictví č. 376/2001 Sb. ze dne 17. října 2001 o hodnocení nebezpečných vlastností odpadů*.
- [22] *Zákon č. 86/2002 Sb. ze dne 14. února 2002 o ochraně ovzduší a o změně některých dalších zákonů*.
- [23] *Zákon č. 472/2005 Sb. ze dne 5. prosince 2005 o ochraně ovzduší*.
- [24] *Nariadení vlády č. 354/2002 Sb. ze dne 3. července 2002, kterým se stanoví emisní limity a další podmínky pro spalování odpadu*.
- [25] HERČÍK, Miloslav. *Ochrana životního prostředí a legislativa*. Vyd. 1. Ostrava: Vysoká škola podnikání a.s., 2004. 158 s. ISBN 80-86764-05-2.
- [26] *Zákon č. 185/2001 Sb. ze dne 15. května 2001 o odpadech a o změně některých dalších zákonů*.

- [27] *Vyhláška Ministerstva životního prostředí č. 383/2001 Sb. o podrobnostech nakládání s odpady.*
- [28] *Nariadení vlády č. 206/2006 Sb. ze dne 12. dubna 2006, kterým se mění nařízení vlády č. 354/2002 Sb., kterým se stanoví emisní limity a další podmínky pro spalování odpadu.*
- [29] KRIŠTOFOVÁ, Dana. *Kovy a životní prostředí – environmentálně nebezpečné složky elektroodpadu.* Vyd. 1. Ostrava: VŠB-TU, 2005. 66 s. ISBN 80-248-0740-8.
- [30] HOLZBECHER, Závěš a kol. *Analytická chemie.* Vyd. 2. Praha: SNTL, 1974. 508 s.
- [31] NEUFINGERL, Franz et al. *Chemie I – Obecná a anorganická chemie.* Vyd. 1. Praha: Wahlberg, 1995. 155 s. ISBN 80-901-657-6-1.
- [32] *Toxicita* [online]. Wikipedie: Otevřená encyklopedie, aktualizováno (12.10.2009) [cit. 2010-3-4]. Dostupný na WWW: <<http://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Toxicita&oldid=4492098>>.
- [33] *Bioakumulace, toxicita a toxický efekt* [online]. Skalice: Příroda.cz, aktualizováno (15.3.2005) [cit. 2010-3-4]. Dostupný na WWW: <<http://www.priroda.cz/clanky.php?detail=310>>.
- [34] ČERMÁKOVÁ, Ludmila; ZÝKA, Jaroslav. *Analytická chemie méně běžných prvků.* Vyd. 1. Praha: Univerzita Karlova, 1990. 176 s. ISBN 80-7066-050-3.
- [35] HESLOP, Richard Beautyman; JONES, K. *Anorganická chemie – Průvodce pro pokročilé studium.* Vyd. 1. Praha: SNTL, 1982. 836 s.
- [36] *Thallium* [online]. Wikipedie: Otevřená encyklopedie, aktualizováno (26.3.2008) [cit. 2008-3-29]. Dostupný na WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Thallium>>.
- [37] *Mangan* [online]. Wikipedie: Otevřená encyklopedie, aktualizováno (25.3.2008) [cit. 2008-3-29]. Dostupný na WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Mangan>>.
- [38] *Nikl* [online]. Wikipedie: Otevřená encyklopedie, aktualizováno (19.3.2008) [cit. 2008-3-29]. Dostupný na WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Nikl>>.
- [39] *Kobalt* [online]. Wikipedie: Otevřená encyklopedie, aktualizováno (28.2.2010) [cit. 2010-3-4]. Dostupný na WWW: <<http://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Kobalt&oldid=5021040>>.

- [40] *Vanad* [online]. Wikipedie: Otevřená encyklopedie, aktualizováno (17.1.2010) [cit. 2010-3-4]. Dostupný na WWW: <<http://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Vanad&oldid=4831461>>.
- [41] *Antimon* [online]. Wikipedie: Otevřená encyklopedie, aktualizováno (17.1.2010) [cit. 2010-3-4]. Dostupný na WWW: <<http://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Antimon&oldid=4831589>>.
- [42] *Zinek* [online]. Wikipedie: Otevřená encyklopedie, aktualizováno (1.3.2010) [cit. 2010-3-4]. Dostupný na WWW: <<http://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Zinek&oldid=5023790>>.
- [43] FIEDOR, Jiří; GRYGAROVÁ, Blanka; TOMÁŠEK, Vladimír. *Toky toxických kovů při spalování komunálních odpadů*. Vyd. 1. Životní prostředí hutnictví železa a hutní druhovýroby v roce 2007 – sborník přednášek. Ostrava: VŠB – TUO, 2007. 96 s., s. 43-49. ISBN 978-80-248-1577-0.
- [44] JIAN-XIN, Li; JIAN-HUA, Yan; YONG, Chi. *The partitioning of heavy metals during MSW incineration on fluidized bed furnace*. Ningbo: Zhejiang University, 2005.
- [45] SANO, H.; KODAMA, H.; FUJISAWA, T. *Elimination of heavy metals from municipal inorganic wastes by chlorination volatilization method*. Nagoya: Nagoya University, 2006.
- [46] VOLNÁ, Zdeňka. *Chování těžkých kovů během spalování tuhých a kapalných paliv*. Vyd. 1. Ostrava: VŠB-TU, 2005. 30 s. ISBN 80-248-0942-7.
- [47] NAGATAKI, S.; SAEKI, T.; HISADA, M. *The leachability of heavy metals in hardened fly ash cement and cement – solidified fly ash: Cement and concrete research*. Guangzhou: South China University of Technology, 2005.
- [48] GULYURTLU, I. et al. *The study of partitioning of heavy metals during fluidized bed combustion of sewage sludge and coal: Journal of energy resources technology*. New York: ASME, 2006.
- [49] MAKEN, Sanjeev et al. *Vitrification of MSWI fly ash using Brown's gas and fate of heavy metals: Journal of science and industrial research*. Seoul: Yonsei University, 2005.

- [50] SORUM, Lars et al. *On the fate of heavy metals in municipal solid waste combustion Part I: Devolatilisation of heavy metals on the grate*. Trondheim: Energy Research Department of Thermal Energy, 2003.
- [51] UM, Nam-Il et al. *Effect of magnetic separation in removal of heavy metals in municipal solid waste incineration bottom ash*. Yuseong-gu Daejeon: Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 2006.
- [52] LEVASSEUR, Beatrice et al. *Metals removal from municipal waste incinerator fly ashes and reuse of treated leachates*. Quebec: Quebec University, 2006.
- [53] PEDERSEN, Anne Juul; OTTOSEN, Lisbeth M.; WILLUMSEN, Arne. *Electrodialytic removal of heavy metals from municipal solid waste incineration fly ash using ammonium citrate as assisting agent*. Lyngby: Department of Civil Engineering Technical University of Denmark, 2005.
- [54] *Seznam spaloven odpadů v ČR* [online]. Praha: Český hydrometeorologický ústav, aktualizováno (12.1.2010) [cit. 2010-3-8]. Dostupný na WWW: <<http://www.chmi.cz/uoco/emise/spalovny/index.html>>.
- [55] *Ekologické limity* [online]. Brno: SAKO, aktualizováno (2009) [cit. 2010-3-8]. Dostupný na WWW: <<http://www.sako.cz/spalovna/limity>>.
- [56] VANĚK, Jiří. *Protokol o autorizovaném měření č. 145/2009*. Praha: INPEK, 2009. 17 s.
- [57] ROČŇÁK, Stanislav. *Protokol o autorizovaném měření č. 102/09*. Ostrava: ELVAC Ekotechnika, 2010. 24 s.
- [58] *Rentgenová fluorescence* [online]. Wikipedie: Otevřená encyklopedie, aktualizováno (25.4.2009) [cit. 2010-3-10]. Dostupný na WWW: <<http://www.sako.cz/spalovna/limity>>.
- [59] SAKO [online]. Brno: SAKO Brno a.s., aktualizováno (2010) [cit. 2010-4-2]. Dostupný na WWW: <<http://www.sako.cz/informace/>>.
- [60] SPOVO [online]. Praha: SITA CZ a.s., aktualizováno (2009) [cit. 2010-3-23]. Dostupný na WWW: <<http://www.sita.cz/page/1174.spovo/>>.

9 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Obecné schéma spalovny odpadů

Příloha 2: Schéma spalovny odpadů SAKO Brno

Příloha 3: Specifické emisní limity – průměrné denní hodnoty

Příloha 4: Specifické emisní limity – průměrné půlhodinové hodnoty

Příloha 5: Specifické emisní limity – průměrné hodnoty během období odběru vzorků
nejméně 30 minut a nejvýše 8 hodin

Příloha 6: Seznam spaloven komunálního odpadu v ČR

Příloha 7: Seznam spaloven nebezpečného (průmyslového a zdravotnického) odpadu v ČR

Příloha 8: Vzorky před úpravou (škvára, popílek, end - produkt)

Příloha 9: Přístroje pro úpravu vzorků

Příloha 10: Vzorky připravené na chemickou analýzu

Příloha 11: Protokol o provedení zkoušek

